

**Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen
durch praktische Tätigkeiten der Modellbildung**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades

d o c t o r r e r u m n a t u r a l i u m
(Dr. rer. nat.)

im Fach Biologie

eingereicht an

der

Lebenswissenschaftlichen Fakultät

der Humboldt-Universität zu Berlin

von

M. Ed. Juliane Orsenne, geb. Hänsch

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Lebenswissenschaftlichen Fakultät

Prof. Dr. Richard Lucius

Gutachter/innen: 1. Prof. Dr. Annette Upmeyer zu Belzen
2. Prof. Dr. Dirk Krüger
3. Prof. Dr. Carolin Retzlaff-Fürst

Tag der mündlichen Prüfung: 26.11.2015

Sage es mir - Ich werde es vergessen!

Erkläre es mir - Ich werde mich erinnern!

Lass es mich selber tun - Ich werde verstehen!

Konfuzius

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung	4
2 Theorie	8
2.1 Modellbildung.....	10
2.1.1 Mentale Modellbildung	10
2.1.2 Externale Modellbildung	13
2.1.3 Erkenntnisgenerierende Modellbildung	14
2.1.4 Prozess der Modellbildung	17
2.2 Modellbildung im Kontext Schule	19
2.2.1 Praktische Modellbildung.....	20
2.2.2 Modellverständnis	22
2.2.3 Praktische Modellbildung und Modellverständnis	23
2.3 Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung.....	27
2.3.1 Erfassen von Vorstellungen	28
2.3.2 Strukturelle und graduelle Differenzierung	28
2.3.3 Modellkompetenz	34
2.4 Zusammenfassung.....	35
2.5 Stand der Forschung	37
2.5.1 Studien zur Erfassung von Modellverständnis	37
2.5.2 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung.....	39
2.5.3 Gründe für die Qualität der Schülervorstellungen	42
2.5.4 Interventionsstudien zur Entwicklung von Modellverständnis	44
2.6 Problemstellung.....	50
3 Operationalisierung der Modellbildung	55
3.1 Hands-On-Aufgaben.....	56
3.1.1 Theoretische Konzeption	59
3.1.2 Praktische Umsetzung	61
3.2 Expertendiskussion und Unterrichtserprobung	64
3.3 Empirische Erprobung	66
3.3.1 Stichprobe	66
3.3.2 Kontexte.....	67

3.3.3 Datenerfassung	69
3.3.4 Datenauswertung.....	74
3.3.5 Ergebnisse	78
3.3.6 Schlussfolgerungen für die Hauptstudie	86
4 Empirische Studie zu Schülervorstellungen im Prozess der Modellbildung	89
4.1 Untersuchungsdesign	89
4.2 Datenauswertung	93
4.3 Ergebnisse	97
4.3.1 Voraussetzungen	97
4.3.2 Prozess der Modellbildung	99
4.3.3 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung....	101
4.3.4 Grafische, gegenständliche und verbale Modellbildungen ...	105
4.3.5 Angebote zur Aktivierung epistemologischer Vorstellungen	110
4.4 Diskussion	112
4.4.1 Prozess der Modellbildung	112
4.4.2 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung....	115
4.4.3 Grafische, gegenständliche und verbale Modellbildungen ...	120
4.4.4 Angebote zur Aktivierung epistemologischer Vorstellungen	123
4.4.5 Methodenkritik	124
5 Implikationen für den Biologieunterricht.....	126
6 Fazit	129
7 Ausblick.....	131
Dank	134
Literaturverzeichnis	135
Anhang	150

Abkürzungsverzeichnis

AAAS	American Association for the Advancement of Science
DM	Denkmodell
Jgst.	Jahrgangsstufe
J. O.	Juliane Orsenne
KMK	Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
N	Anzahl der Gesamtmenge
n	Anzahl der Teilmenge
NGSS	Next Generation Science Standards
NOS	Nature of Science
NRC	National Research Council, Herausgeber der <i>National Science Education Standards</i>
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PISA	Programme for International Student Assessment
RLP	Rahmenlehrplan
SuS	Schülerinnen und Schüler
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study
TK	Teilkompetenz
vgl.	Vergleich
κ	Cohens Kappa

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Mentale Modellbildung mit dem Ziel der Informationsverarbeitung als Form der Analogiebildung.....	10
Abb. 2: Theorie der semantischen Stufen (stark verändert nach Stachowiak, 1973, S. 218).	13
Abb.3: Modellsein durch die Kombination von Herstellungs- und Anwendungsperspektive.	15
Abb. 4: Modell der Modellbildung (nach Justi & Gilbert, 2002, S. 371; übersetzt J.O.). ..	18
Abb. 5: Positive Wirkungen der praktischen Modellbildung auf die Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts nach Hodson (1993, 2014).	20
Abb. 6: Die praktische Modellbildung und das Modellverständnis als miteinander interagierende Elemente mit den Zwecken <i>sensemaking</i> und <i>communicating Understanding</i> (Schwarz et al., 2009).	24
Abb. 7: Modellbasierte Lernbereiche nach Meisert (2008) mit direkter Wirkung der Modellarbeit auf das Modellverständnis.....	25
Abb. 8: Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen mit einer Wechselbeziehung zwischen einer erkenntnisgenerierenden Modellnutzung und dem Wissenschaftsverständnis (Mayer, 2007).	26
Abb. 9: Beispiel einer offenen Aufgabe aus Grünkorn et al. (2011).	38
Abb. 10: Einordnung des Projekts in die entwicklungsorientierte Evaluationsforschung nach Krüger (2003).	55
Abb. 11: Operationalisierung der Modellbildung als Hands-On-Aufgabenstruktur in den drei Phasen der Konzipierung, Evaluierung und Optimierung.	58
Abb. 12: Struktur einer Hands-On-Aufgabe zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (in den Rechtecken: Aktionskarten und Reflexionsangebote, in den Kreisen: Schüleraktivitäten).	62
Abb. 13: Reflexionsangebote in Form von Modelbeispielen aus dem schul- und wissenschaftlichem Kontext.	63

Abb. 14: Modell der menschlichen Wirbelsäule in Form eines Gelenkbusses mit Bandscheiben als bewegliche Bestandteile und den Wirbelknochen als Buskorpus.	68
Abb. 15: Materialien für den Modellbildungsprozess zur Funktionsweise der Schwimmblase bei Fischen.....	68
Abb. 16: Komponenten des Multi-Method Interviews nach Wilson & Clarke (2004) mit Zielstellungen für die Untersuchung.	69
Abb. 17: Ablauf der Datenerfassung.	71
Abb. 18: Standardisiertes Setting zur Fokussierung modellbildender Tätigkeiten auf dem Tisch mit wenig Ablenkung durch die Versuchsleitung oder Kamera.....	74
Abb. 19: Verteilung der Schüleraussagen in absoluten Zahlen auf die Niveaus der Teilkompetenzen von Modellkompetenz (N=135).	79
Abb. 20: Ordnungsprozedere im Rahmen der qualitativen Analysen, um die Schüleraussagen sowohl gruppenspezifisch als auch hinsichtlich einzelner Schritte der Hands-On-Aufgabe zu vergleichen.	94
Abb. 21: Codelines als fallorientierte Visualisierungsform in <i>MAXQDA</i> zur Identifizierung aktivierter Schüleraussagen und korrelierender Kategorien (x-Achse: Kategoriensystem, y-Achse: fortlaufend transkribierter Text).	96
Abb. 22: Schüleraussagen pro Gruppe in absoluten Zahlen.	98
Abb. 23: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Schüleraussagen auf die einzelnen Kategorien der Teilkompetenz <i>Testen von Modellen</i> (grau: sonstiges, blau: Niveau I, rot: Niveau II, grün: Niveau III). Zur Beschreibung der anderen Kategorien siehe Codierleitfaden auf Seite 167.	100
Abb. 24: Schülerzeichnung zum Kontext <i>Arteriosklerose</i> als Analogie zu einer Fabrik mit Pipeline.	105
Abb. 25: Zweischnittiges Modell der Arteriosklerose. Links: gesundes Blutgefäß, rechts: Blutgefäß mit Ablagerungen.....	106
Abb. 26: Kreatives Schülermodell zum Kontext <i>Arteriosklerose</i> (Ballon: Herz; Strohhalm: Blutgefäße; eins mit Ablagerungen).	107

Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus in der Teilkompetenz <i>Eigenschaften von Modellen</i> (DM=Denkmodell/Gruppe 'Verbalisieren').	109
Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus in der Teilkompetenz <i>Testen von Modellen</i> (DM=Denkmodell).	110
Abb. 29: Konkretisiertes Modell der Modellbildung für den schulischen Anwendungskontext auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse (verändert nach Justi & Gilbert, 2002).	117
Abb. 30: Vier Unterrichtsphasen zur Vermittlung von Modellverständnis.	127

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Komponenten des Modellverständnisses (<i>metamodeling knowledge</i>) nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009, S. 636; Übersetzung und Kürzung durch J.O.).	23
Tab. 2: <i>matrix of modelling dimensions</i> (Crawford & Cullin, 2005, S. 316; Übersetzung und Kürzung J.O.).	29
Tab. 3: <i>learning progression</i> nach Schwarz et al. (2009, S. 9, 16; Kürzung und Übersetzung durch J.O.).	30
Tab. 4: Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010; Kürzung durch J.O.).	32
Tab. 5: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen (N=3531) auf die Niveaus der Teilkompetenzen von Modellkompetenz aus Grünkorn et al. (2014). Die Zeilensummen ergeben nicht 100%, da nicht alle Antworten den Niveaus des Kompetenzmodells zugeordnet werden konnten ($N_{Lernende}=1177$).	42
Tab. 6: Leitlinien zur Konzipierung von Hands-On-Aufgaben mit dem Ziel der erkenntnisgenerierenden Modellbildung.	61
Tab. 7: Zusammenfassung über die verwendeten Kontexte im Projekt.	66
Tab. 8: Interviewfragen zu den Teilkompetenzen von Modellkompetenz (nach Grosslight et al., 1991).	72
Tab. 9: Transkribierte und redigierte Schüleraussagen zum Prozess wissenschaftlicher Modellbildung.	75
Tab. 10: Schüleraussagen zum Modellobjekt (TK Testen, Ändern von Modellen, Alternative Modelle) und dessen medialen Charakter (TK Zweck von Modellen).	80
Tab. 11: Induktiv gebildete Kategorien aus der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgaben.	82
Tab. 12: Experimentelles Design der Hauptuntersuchung.	90
Tab. 13: Übersicht über die Probandinnen und Probanden der Hauptuntersuchung (N=12).	90
Tab. 14: Überblick über die erfassten Kontrollvariablen der Untersuchung.	92

Tab. 15: Leitfragen zur qualitativen Auswertung einzelner Schritte der Hands-On-Aufgabenstruktur. Die unterschiedlichen Grautöne grenzen die Modellbildungsprozesse Zeichnen/Verbalisieren im ersten Schritt und Konstruieren/Verbalisieren im zweiten Schritt voneinander ab.	95
Tab. 16: Verteilung der Aussagen der Probandinnen und Probanden (anonymisierte Abkürzungen) in absoluten Zahlen auf die drei Niveaus aller Teilkompetenzen von Modellkompetenz ($n = 354$).	97
Tab. 17: Werte von Modellkompetenz und herausgearbeiteten Kontrollvariablen. Modellkompetenz als Quotient aus gewichteten Schüleraussagen pro Niveau (Niveau I/Faktor 1, Niveau II/Faktor 2, Niveau III/Faktor 3) und Anzahl der Gesamtaussagen der SuS. Bezüglich der T-Werte liegt die durchschnittliche Jahrgangsnorm für Gymnasiasten bei knapp $T=60$. Für einen besseren Überblick werden die besten Werte grün und die Schlechtesten rot dargestellt.	99
Tab. 18: Verteilung der Schüleraussagen in absoluten Zahlen auf die Niveaus der einzelnen Teilkompetenzen mit konkreten Schülerbeispielen zur am häufigsten genannten Kategorie (<i>Sonstiges</i> : Aussagen können einer Teilkompetenz, aber keinem Niveau zugeordnet werden).	102
Tab. 19: Kategorie „Modelle für Verständlichkeit“ als prominente Begründung zu jeder Teilkompetenz. In Prozent sind die Anzahl der Aussagen zu dieser Kategorie innerhalb der Teilkompetenz angegeben.	103
Tab. 20: Zwei prominente Schülerperspektiven auf Modelle mit jeweils unterschiedlichem Fokus.	104
Tab. 21: Gegenüberstellung der grafischen, gegenständlichen und verbalisierenden Modellbildung.	122

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit lässt sich wissenschaftstheoretisch dem *model-based view of scientific theory and scientific inquiry* zuordnen, wonach die Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung in den Naturwissenschaften mit Modellen verbunden sind. Wissenschaftliches Arbeiten setzt das Konstruieren, Testen und Ändern von Modellen voraus, um Phänomene zu erklären und vorherzusagen. Im Unterrichtsalltag bleibt diese bedeutende Rolle von Modellen für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung meist unreflektiert. Modelle werden vornehmlich als pädagogische Hilfsmittel zur Vermittlung von Fachwissen genutzt. Dagegen fordern internationale und nationale Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht, fachwissensorientierte Unterrichtsansätze mit denk- und handlungsorientierten Ansätzen zu ergänzen. Entsprechend einer *modeling-centered scientific inquiry* sollen Schülerinnen und Schüler Modelle konstruieren, testen, ändern und evaluieren, um Phänomene zu verstehen und vorherzusagen. Auf diese Weise haben sie die Möglichkeit, die Modellbildung als Methode zur Erkenntnisgewinnung zu begreifen. Doch bisher konnte keine Studie gefunden werden, die empirisch einen Zusammenhang zwischen praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von Modellverständnis aufzeigt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher, die Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen durch praktische Tätigkeiten der Modellbildung für das Unterrichtsfach Biologie zu untersuchen. In der Vorstudie „Operationalisierung der Modellbildung“ wurden als ausführungsbezogenes Instrument zur Modellbildung Hands-On-Aufgaben mit entsprechenden Methoden zur Datenerfassung und -auswertung konzipiert. Die theoretische Basis für die Aufgabenkonstruktion war das Modell der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002). Es stellt die grundlegenden Schritte der Modellbildung flexibel und gleichzeitig zusammenhängend dar, wodurch es als hilfreich für die Konzipierung von Lerngelegenheiten zur Modellbildung beschrieben wird. Die Evaluierung der Aufgabenstruktur und der Methoden zur Datenerfassung erfolgte in drei Schritten. Zunächst diskutierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Fachdidaktik Biologie die Passung der Aufgabenstruktur mit der zugrundeliegenden Theorie sowie die allgemeine Schwierigkeit. Anschließend wurde der Ablauf der Aufgabenstruktur im Rahmen einer Unterrichtsstunde in einer dritten und achten Klasse geprüft. Als dritter Bestandteil der Evaluierung erfolgte eine empirische Erprobung mit vier Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen sieben bis zehn. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden der Kontext und die Stichprobe für die Hauptuntersuchung festgelegt sowie die Aufgabenstruktur mit Blick auf die Zielstellung optimiert. Die konstruierte Hands-On-Aufgabenstruktur regt die Schülerinnen und Schüler dazu an, verschiedene Tätigkeiten der erkenntnisgenerierenden Modellbildung auszuführen. Dabei aktivierte Schülervorstellungen wurden mit einer

Methodenkombination aus Lautem Denken, Interview und Videoaufzeichnung erfasst. Zur Beurteilung der Qualität von Fähigkeiten zur Modellbildung und dabei angewendeter Vorstellungen in unterschiedlich elaborierten Ausprägungen wurde das Kompetenzmodell der Modellkompetenz von Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) herangezogen.

Die Hauptstudie „Empirische Studie zu Schülervorstellungen im Prozess der Modellbildung“ hatte zum Ziel, die Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen durch einzelne Schritte und verschiedener Reflexionsangebote zur Modellbildung zu untersuchen. Mit Blick auf die Anbindung in den Schulkontext wurden dabei Unterschiede zwischen grafischen, gegenständlichen und verbalen Modellbildungsprozessen analysiert. Hierfür wurde ein qualitatives, experimentelles Untersuchungsdesign festgelegt. Die Stichprobe der Hauptstudie umfasste zwölf Gymnasialschülerinnen und -schüler der zehnten Jahrgangsstufe.

Als grundlegendes Ergebnis zeigt sich, dass die meisten Probandinnen und Probanden den hypothetisch-deduktiv angelegten Modellbildungsprozess trotz unterstützender und strukturierender Maßnahmen auf eine mediale Weise durchführten. Das heißt, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Modelle nicht zur Beantwortung ihrer Fragen zum Phänomen nutzten, sondern zur Erklärung und Veranschaulichung ihres eigenen Verständnisses zum Kontext. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung und der Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung aufgezeigt werden. Eine Begründung hierfür ist eine inhaltsorientierte Unterrichtspraxis zu Modellen, die in Konflikt mit der erkenntnisgenerierenden Modellbildung steht. Schülerinnen und Schüler sind meist Konsumenten eines von Autoritäten vermittelten Wissens, das sie infolge nicht selbstständig konstruieren, testen und ändern (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996).

Im Gegensatz zu den praktischen modellbildenden Tätigkeiten erwiesen sich zur Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen drei Reflexionsangebote in Form von Interviewfragen oder visuellen Impulsen als hilfreich. Konkret öffnete das Reflektieren über die Prozesse des Testens und Änderns von Modellen, über den Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung und schließlich über alternative Modellobjekte die Gedanken der Schülerinnen und Schüler weg vom eigenen Modellobjekt hin zu einer wissenschaftlichen Perspektive. Die durch Legrenzi, Girotto und Johnson-Laird (1993) beschriebene Fokussierung auf das Modellobjekt wird somit minimiert. Die Schülerinnen und Schüler äußerten Vorstellungen über das wissenschaftliche Arbeiten mit Modellen.

Eine weitere Erkenntnis der Studie ist, dass die durch Justi und Gilbert (2002) beschriebenen Schritte zur Modellbildung mit Blick auf zukünftige Interventionen um drei Aspekte erweitert werden können: die bedeutende Rolle des *Modelladressaten* sowie die

Schritte *Informationsrecherche* und *Verändern des externalen Modells*. Der erdachte Adressat beeinflusst den Prozess der Modellbildung wesentlich. Die Probandinnen und Probanden konstruierten ihre Modelle meist für Mitschülerinnen und Mitschüler mit dem Resultat eines medialen Prozesses zu Veranschaulichungszwecken. Die Recherche nach Informationen war eine wichtige Voraussetzung zum Testen und Ändern der Modelle. Und letztlich veränderten und verwarfen die Probandinnen und Probanden nicht nur ihre mentalen Modelle, wie bisher im Schema durch Justi und Gilbert beschrieben, sondern sie führten zusätzlich direkt Veränderungen an ihren konstruierten Modellobjekten durch.

Dass die grafische, gegenständliche und gedankliche Modellbildungen jeweils unterschiedlich geeignet sind, verschiedene Modellaspekte mit Schülerinnen und Schülern zu thematisieren, ist ein weiteres Ergebnis der Untersuchung. Das Zeichnen erweist sich mehr als eine visuelle Lernstrategie und weniger als ein adäquater Prozess der Erkenntnisgewinnung. Die Probandinnen und Probanden übersetzten die vorgegebenen Informationen zum Phänomen in bildlich erklärende Darstellungen. Die Modellbildung mit konkreten Materialien eignet sich insbesondere zur Thematisierung des Testens, Ändern und Evaluierens des Modellobjekts. Die verbalisierende Modellbildung ist geeignet, um den gedanklichen Charakter und das Ändern von Modellen zu thematisieren. Aus den Ergebnissen der Studie wurden Hinweise zur Gestaltung von Unterricht zur Modellbildung abgeleitet.

1 Einleitung

Das Ebolafieber entwickelte sich seit seinem Ausbruch im Februar 2014 in Westafrika nach der Zahl der erfassten Erkrankungen und Todesfälle zur größten Epidemie seiner Art. Seitdem berichten die Medien fast täglich darüber, wobei immer wieder Fragen zu Therapiemaßnahmen und zur Ausbreitungsdynamik gestellt werden. Die Wissenschaftler Dirk Brockmann von der Berliner Humboldt-Universität und Dirk Helbing von der Technischen Hochschule in Zürich entwickelten ein Modell, das Ausbreitungsmechanismen des tödlichen Erregers über die ganze Welt simuliert (<http://rocs.huberlin.de/D3/ebola/>). Als Ausgangspunkt bestimmten die Wissenschaftler die beiden wichtigsten Flughäfen Westafrikas in Guinea und Sierra Leone. „Das Modell zeige, wie sich die Infektionswelle weiterentwickle und in welchen Ländern man daher zuerst mit Ebola-Infektionen rechnen müsse“, erklärt Brockmann (Dambeck, 2014). Dem Modell kann man entnehmen, dass je nach Startflughafen die Städte Paris, London, Brüssel oder Amsterdam die wichtigsten Einfallstore in Europa für das Fieber sind. In Deutschland treten die Infektionen aufgrund der fehlenden Direktverbindungen später auf. „Mit dem Modell kann man auch testen, welche Auswirkungen die Schließung bestimmter Flugverbindungen hätte“ (ebd.).

Das Beispiel verdeutlicht, dass beim wissenschaftlichen Arbeiten Modelle konstruiert werden, mit deren Hilfe Vermutungen über ein Phänomen getestet und neue Erkenntnisse gewonnen werden können (Giere, 1988; Harrison & Treagust, 2000). Auch für die anschließende Kommunikation dieser wissenschaftlichen Erkenntnisse werden Modelle genutzt. Das wird im folgenden Auszug aus einem Artikel über den Nobelpreis für Medizin im Jahr 2013 zum Transportsystem in Zellen deutlich (Weber, 2013):

„Vesikel sind im Prinzip Bläschen oder Ballons, in deren Inneren Substanzen reisen können. Vesikel ist nicht gleich Vesikel: Die winzigen Fähren unterscheiden sich und steuern deshalb verschiedene Andockstellen an, wo sie ihre jeweilige Fracht abladen. Manche transportieren ihre Ladung innerhalb einer Zelle, andere reisen zur Zellmembran und sorgen dafür, dass ihr Gut die Zelle verlässt.“

Die Auseinandersetzung mit den Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist entsprechend der Bildungsstandards im Fach Biologie ein grundlegendes Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung. Dabei wird das Modellieren als bedeutsam beschrieben (KMK, 2005, S. 6, 11). Doch die dargestellte wichtige Rolle von Modellen zur Generierung wissenschaftlicher Erkenntnisse und deren Kommunikation bleibt im Schulkontext meist unreflektiert. Modelle werden vornehmlich als pädagogische Hilfsmittel zur Vermittlung von Fachwissen genutzt. Die Modellinhalte werden dabei

häufig als unveränderliche Fakten präsentiert (z. B. Stephens, McRobbie & Lucas, 1999; Van Driel & Verloop, 1999; Crawford & Cullin, 2005; Henze, Van Driel & Verloop, 2007). Dagegen fordern internationale und nationale Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht, wie die *Next Generation Science Standards* (NGSS Achieve Inc., 2013) oder die deutschen Bildungsstandards (KMK, 2005), die vorherrschenden inhaltsorientierten Unterrichtsansätze mit denk- und handlungsorientierten Ansätzen zu ergänzen. Auf diese Weise würden Schülerinnen und Schüler ein Verständnis über die charakteristischen Grundzüge der Erkenntnisgewinnung und die Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens erlangen, was unverzichtbar in einem durch Naturwissenschaften und Technik geprägten Alltag sei (OECD, 2001; Abd-El-Khalick et al., 2004). Zum Beispiel würde die kritische Auseinandersetzung mit dem beschriebenen Modell zu den Ausbreitungsmechanismen von Ebola bei der Bewertung von Risiken im Falle einer geplanten Reise nach Afrika helfen. Schülerinnen und Schüler würden nach einer Unterrichtsstunde zu dieser Problemstellung feststellen, dass das Ebola-Epizentrum entgegen der medialen Wirkung weiter weg von Kapstadt ist als von Paris oder London.

Hinsichtlich der denk- und handlungsorientierten Unterrichtsansätze zu Modellen wird Folgendes postuliert: „We do not learn much from looking at a model – we learn more from building the model and from manipulating it“ (Morrison & Morgan, 1999, S. 12). Entsprechend einer *modeling-centered scientific inquiry* sollen Schülerinnen und Schüler Modelle konstruieren, testen, ändern und evaluieren, um Phänomene zu verstehen und vorherzusagen (z. B. Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006). Auf diese Weise hätten sie die Möglichkeit, die Modellbildung als Methode zur Erkenntnisgewinnung zu begreifen, statt den Zweck von Modellen in der Veranschaulichung von Fakten zu sehen, die es auswendig zu lernen gilt (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991, S. 820). Der Zusammenhang zwischen dem praktischen Handeln und dem Verständnis wurde schon zu Zeiten vor Christi Geburt durch den chinesischen Philosophen Konfuzius beschrieben: „Lass es mich selber tun - Ich werde verstehen“.

Viele empirische Interventionsstudien haben sich zum Ziel gesetzt, Unterrichtsreihen mit einem Fokus auf die praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis zu entwickeln (z. B. Schwarz & White, 2005; Schwarz et al., 2009). Die meisten Untersuchungen erfolgten in den Unterrichtsfächern Chemie und Physik (z. B. Jackson, Stratford, Krajcik & Soloway, 1994; Barab, Hay, Barnett & Keating, 2000; Mendonca & Justi, 2011). Sie führten Unterrichtsreihen über mehrere Wochen mit vielen weiteren Tätigkeiten, wie Diskussionen, Präsentationen oder Reflexionen durch und vermittelten direkt Wissen über Modelle und die Modellbildung. Dadurch kann keine Aussage getroffen werden, welcher Faktor (Zeit, Tätigkeit, Instruktion) das Modellverständnis der Schülerinnen und Schüler

beeinflusste. Passmore, Gouvea und Giere (2014, S. 1197) stellen fest: „However, more detailed work is needed in this area to understand exactly how a focus on models and modeling (...) may influence students' epistemological views.“

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung durch eine *modeling-centered scientific inquiry* mit den Prozessen des Konstruierens, Testens und Änderns von Modellen für das Fach Biologie zu untersuchen. Das kommt der Forderung von Schecker und Parchmann (2006, S. 46) entgegen, bei der Erfassung von Modellkompetenz als naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsweise neben den bereits vielfältig erfassten kognitiven Fähigkeiten auch das praktische, manuelle Ausführen der Modellbildung nicht zu vernachlässigen. Während der konkreten Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung können komplexe epistemologische Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung aktiviert werden (Hamilton et al., 1997; Elby & Hammer, 2001). Daher wird in der vorliegenden Untersuchung erwartet, im Prozess der Modellbildung Schülervorstellungen über Modelle als Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung zu erfassen.

Konkret können Schülerinnen und Schüler die Modellbildung beispielsweise mittels gesprochener und geschriebener Sprache, Zeichnungen, Materialien oder mathematischer Formeln durchführen (Buckley & Boulter, 2000). In empirischen Studien kommen zunehmend auch computerbasierte Modellbildungen zum Einsatz (Raghavan & Glaser, 1995; Gobert & Pallant, 2004). Diese sind jedoch für Schülerinnen und Schüler kognitiv herausfordernd, da die Bedienung der spezifischen Software verstanden werden muss und oft mathematisches Wissen zur Konstruktion quantitativer Modelle oder zur Interpretation konstruierter Diagramme notwendig ist (Feuerzeig, 1999). Dagegen stellen das Zeichnen von Modellen, das Konstruieren mit verschiedenen Materialien und das Verbalisieren von Denkmodellen die geringsten Anforderungen an Novizen in der Modellbildung (Sins, Savelsbergh & van Joolingen, 2005; Maia & Justi, 2009; Leutner & Opfermann, 2013). Außerdem sind diese drei Formen der Modellbildung hinsichtlich eines zeitlichen, materiellen und organisatorischen Aufwands für den Schulkontext praktikabel. Doch es mangelt an denk- und handlungsorientierten Unterrichtsmaterialien zur Thematisierung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002). Die Probandinnen und Probanden der vorliegenden Arbeit werden Modelle zeichnen, mit verschiedenen Materialien konstruieren und Denkmodelle verbalisieren, um Vor- und Nachteile der drei Modellbildungsprozesse zu beschreiben. Es wird davon ausgegangen, dass die grafische und gegenständliche Modellbildung authentische Formen der Erkenntnisgewinnung mit Modellen sind und wissenschaftliche Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung aktivieren. Die reine Verbalisierung von Ideen fällt den Schülerinnen und Schülern ohne ein konkretes

Modellobjekt eventuell schwer. Es wird vermutet, dass sie aufgrund der fehlenden konkreten Handlung während der verbalisierenden Modellbildung keine komplexen Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung äußern können. Aus den Ergebnissen werden Hinweise zur Gestaltung von Unterricht zur Modellbildung abgeleitet.

2 Theorie

Die Grundlage jeglicher menschlicher Erkenntnis und Weltbegegnung ist die Modellbildung (Stachowiak, 1973, S. 56). Halloun (2006) unterscheidet die mentale, externale und erkenntnisgenerierende Modellbildung. Der Prozess der mentalen Modellbildung als ersten Schritt der Welterschließung und Basis für das Lernen wird in Kapitel 2.1 ausgeführt. Es wird verdeutlicht, in welchem Verhältnis Modelle zur Welt im Allgemeinen (konstruktiver Empirismus versus wissenschaftlicher Realismus) und dem zugrundeliegenden Phänomen im Besonderen stehen. Mentale Modelle müssen zum Zweck der Kommunikation externalisiert werden (Seel, 1991.) Dieser Prozess wird in Kapitel 2.1.2 vorgestellt, um daraus Besonderheiten zur Erfassung mentaler Modelle abzuleiten. Außerdem wird im Rahmen dieser Herstellungsperspektive auf Modelle Stachowiaks (1973) Modelldefinition mit den drei Merkmalen der Abbildung, Verkürzung und Pragmatik vorgestellt. Darauf aufbauend widmet sich das folgende Kapitel „Erkenntnisgenerierende Modellbildung“ (2.1.3) der Anwendung von Modellen und deren Verhältnis zu Theorien (van Fraassen, 1980; Giere, 1988). Eine Kombination der Herstellungs- mit der Anwendungsperspektive erfolgt mit Mahrs (2009) Definition des Modellbegriffs (Abb.3). In Kapitel 2.1.4 werden die Ausführungen zur mentalen, externalen und erkenntnisgenerierenden Modellbildung mithilfe eines Ablaufschemas zur Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002, Abb. 4) zusammengefasst. Es ist eine wichtige theoretische Grundlage für die vorliegende Arbeit, da es als hilfreich für die Konzipierung und Analyse von Lerngelegenheiten zur Modellbildung gesehen wird (Maia & Justi, 2009; Mendonca & Justi, 2011).

Die Modellbildung im Kontext Schule wird in Kapitel 2.2 ausgeführt. Kapitel 2.2.1 geht konkret auf grafische, gegenständliche und verbale Modellbildungen hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit und Anforderungen für die Schülerinnen und Schüler ein. Diese drei Formen sind hinsichtlich des materiellen, zeitlichen und organisatorischen Aufwands für den Schulkontext geeignet. Dort gilt es mit Blick auf die Forderungen der internationalen und nationalen Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht (NRC, 1996; KMK, 2005; NGSS Achieve Inc., 2013) das Modellverständnis für eine naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) zu fördern. Kapitel 2.2.2 führt die Grundlagen des Modellverständnisses nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009) aus und dessen Situierung in die größere Perspektive Wissenschaftsverständnis. Viele Autorinnen und Autoren beschreiben, dass die selbstständige Modellbildung mit den Schritten der Modellkonstruktion sowie des Testens und Änderns von Modellen zu einem elaborierten Modellverständnis von Schülerinnen und Schüler führt (z. B. Penner, Giles, Lehrer & Schauble, 1997; Gobert & Pallant, 2004; Schwarz et al., 2009). In diesem Zusammenhang werden in Kapitel 2.2.3 die theoretischen Modelle nach Schwarz und

Kolleginnen und Kollegen (2009), Meisert (2008) sowie das Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen nach Mayer (2007) vorgestellt.

Zur Beurteilung des Modellverständnisses von Schülerinnen und Schüler werden in der Untersuchung ihre Vorstellungen erfasst. Kapitel 2.3 widmet sich zunächst der Ausführung des allgemeinen Charakters von Schülervorstellungen und den allgemeinen Bedingungen zu deren Erforschung. Anschließend werden als notwendige Voraussetzung zur Diagnose und darauf aufbauender Förderung von Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung drei theoretische Ansätze für deren inhaltliche und graduelle Differenzierung aufgeführt: die *matrix of modelling dimensions* von Crawford und Cullin (2005; Tab. 2), die *learning progression* nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009; Tab. 3) sowie das Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010; Tab. 4). Obwohl alle drei Ansätze die Erkenntnisgewinnung mit Modellen fokussieren, wird das Kompetenzmodell der Modellkompetenz für die vorliegende Untersuchung herangezogen. Es strukturiert und differenziert die Schritte der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) sowie bei der Modellbildung angewendete Kenntnisse. Dieses Kompetenzmodell wurde bereits empirisch überprüft (Kapitel 2.3.2).

Nach einer Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen in Kapitel 2.4 werden im Stand der Forschung mithilfe relevanter Studien (Kapitel 2.5.1) unterschiedlich elaborierte Schülervorstellungen zu den verschiedenen Aspekten des Modells der Modellbildung (Justi & Gilbert, 2002) sowie dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) vorgestellt (Kapitel 2.5.2). Anschließend werden Gründe für die Qualität der Schülervorstellungen genannt, wobei Lehrervorstellungen zu den verschiedenen Modellaspekten, die Unterrichtsgestaltung zur Thematik *Modelle* und die kognitiven Voraussetzungen von Schülerinnen und Schülern eine Rolle spielen (Kapitel 2.5.3). Am Ende des Theoriekapitels werden Interventionsstudien vorgestellt, die den in der Theorie beschriebenen Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von Modellverständnis untersuchten (Kapitel 2.5.4).

2.1 Modellbildung

2.1.1 Mentale Modellbildung

In der kognitions- und lernpsychologischen Forschung etablierte sich seit den frühen achtziger Jahren zunehmend der modellzentrierte Ansatz von Lernen, der Erkenntnis und Lernen als die Entwicklung mentaler Modelle ausführt (Gentner & Stevens, 1983; Johnson-Laird, 1983; Giere, 1988; Seel, 1991; Nersessian, 2008). So wird im moderaten Konstruktivismus¹ als anerkannter Lerntheorie (Mayer, 2005) von folgender Grundlage ausgegangen: „the mind produces (...) mental models that explain to the knower what he or she has perceived“ (Jonassen, 1991, S. 10). Demnach beginnt der Erkenntnisprozess eines Individuums mit der Wahrnehmung von Sinneseindrücken aus der Umwelt, beispielsweise über gesprochene Wörter, Bilder oder haptische Eindrücke (Hestenes, 1995). Diese perzeptuellen Informationen geben den Impuls für das Denken und werden zunächst im Arbeitsgedächtnis mittels eines geeigneten subjektiven Zeichensystems mental abgebildet bzw. repräsentiert. Dieser Vorgang ist der erste Schritt der mentalen Modellbildung zur Informationsverarbeitung, die als Prozess in Abb. 1 dargestellt ist.

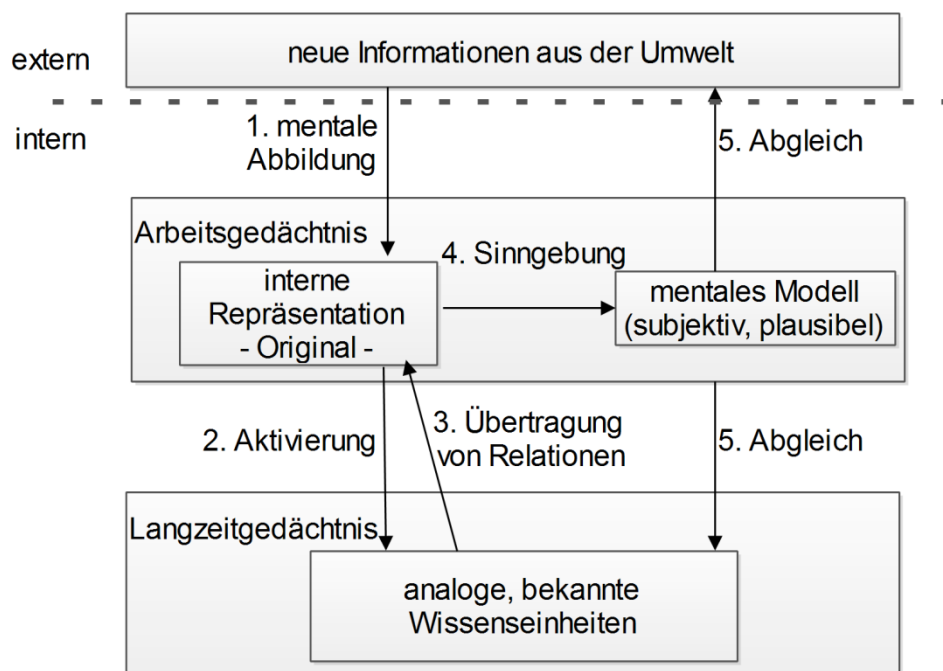


Abb. 1: Mentale Modellbildung mit dem Ziel der Informationsverarbeitung als Form der Analogiebildung.

¹ Entsprechend des moderaten Konstruktivismus wird Wissen zu einem bestimmten Kontext von Lernenden in einem aktiven und selbstgesteuerten Prozess auf der Grundlage von Vorwissen, existierenden Vorstellungen und Überzeugungen konstruiert (Duit, 1991; Terhart, 1999; Mandl, 2006).

Um die aufgenommenen Informationen zu verarbeiten und zu verstehen, werden im Langzeitgedächtnis adäquate, bereits existierende Wissensstrukturen aktiviert. Sie werden als *Schemata* bezeichnet, wenn es sich um Wissensselemente zu Objekten, Personen und Situationen handelt (Anderson, 1983). Handlungsbezogene Wissensselemente hingegen heißen *Skripte* (Schank & Abelson, 1977). Fügen sich die neuen Informationen automatisch und erfolgreich in diese bestehenden kognitiven Strukturen ohne deren Veränderung ein, spricht man im Sinne Piagets (1976) von Informationsverarbeitung als *Assimilation*. Steht im Langzeitgedächtnis hingegen kein Schema oder Skript für neue Informationen im Arbeitsgedächtnis zur Verfügung, werden Wissensstrukturen zu ähnlichen Sachverhalten im Sinne einer *Analogie* aktiviert (Schritt 2, Abb. 1). Bei der Analogiebildung werden die Strukturen und- /oder Funktionen eines bekannten und analogen Sachverhaltes aus dem Langzeitgedächtnis, dem Ursprungsbereich, auf den neu zu verarbeitenden Sachverhalt, den Zielbereich, übertragen und ebenfalls im Arbeitsgedächtnis repräsentiert (Johnson-Laird & Byrne, 1989; Nersessian, 1992; Schritt 3, Abb. 1). Auf diese Weise wird die neu zu verarbeitende Information in einen Zusammenhang gestellt und Bedeutung erzeugt (Oeser, 1988, S. 187; Schritt 4, Abb. 1). Ergebnis dieser Analogiebildung ist ein *mentales Modell*, für das die bestehenden Wissensstrukturen restrukturiert und verändert werden. Piaget (1976) bezeichnet diesen Prozess in Abgrenzung zur Assimilation als *Akkommodation*. Die Basis eines jeden Modells ist demnach eine Analogie (Hesse, 1966). Das erzeugte mentale Modell wird sowohl mit den neuen Informationen als auch mit den bestehenden Wissensseinheiten verglichen und folgend verbessert, bis die neue Information für das Individuum plausibel ist (Schritt 5, Abb. 1). Aus diesem Grund sind mentale Modelle dynamisch. Seel (2000) bezeichnet diesen Prozess als *sukzessive Modellvervollständigung*, die der Selbstkommunikation dient, das heißt einem „Mit-sich-selbst-Verständigen“ (Seel, 1991, S. 154).

Ein für das Individuum plausibles mentales Modell unterstützt die Generierung von persönlichen Erklärungen und Vorhersagen über ein Phänomen (Gentner & Wolff, 2000; Vosniadou, 2002). Die mentale Modellbildung ist daher auch für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler grundlegend (Clement, 1989; Dunbar, 1995). Allgemein kann jedoch das persönliche mentale Modell in Konflikt mit dem wissenschaftlich anerkannten Modell stehen (Chi, 2008). Mentale Modelle, entweder persönlich plausibel oder wissenschaftlich korrekt, die mehrfach Plausibilität erzeugen und dabei generalisiert und abstrahiert werden, können selbst zu einem festen schematisierten Bestandteil des Wissens im Langzeitgedächtnis werden. Sie werden zum neuen Ursprungsbereich zur Bedeutungserzeugung (Dörr et al., 1986, S. 182).

Die beschriebene Analogiebildung ist der Grund dafür, dass im Rahmen der vorliegenden Arbeit das mentale Modell nicht wie bei Terzer (2013, S. S.19) und Grünkorn (2014, S. 24) mit dem *Original* gleichgesetzt wird. Stachowiak beschrieb 1973 in seiner „Allgemeinen Modelltheorie“, dass Modelle immer etwas repräsentieren und bezeichnete dieses repräsentierte Etwas als Original. In der Wissenschaftstheorie wird dafür der Begriff „referent“ verwendet (Oh & Oh, 2011, S. 1113). Da auch jedem mentalen Modell ein Original zugrundeliegt, werden die im Arbeitsgedächtnis intern repräsentierten und zum Modell korrespondierenden Aspekte der Umwelt als Original bezeichnet (siehe Abb. 1). Mentale Modelle werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit als interne semantische und dynamische Repräsentationen aufgefasst, die ein Individuum während des Wahrnehmens und Denkens als Folge einer Analogiebildung erzeugt (vgl. Anderson, 1983). Sie weisen sowohl bildliche als auch propositionale Einheiten auf (Engelkamp & Zimmer, 2006; S. 213).² Johnson-Laird (1983, S. 402) stellt fest: „...all our knowledge of the world depends on our ability to construct models of it“.

Modell und Realität

Die bisherigen Ausführungen zum Zusammenhang zwischen mentalen Modellen auf der einen Seite und den perzeptuellen Informationen auf der anderen Seite (Kapitel 2.1) lassen sich unter wissenschaftstheoretischer Perspektive dem *konstruktiven Empirismus* (van Fraassen, 1980) zuordnen und somit vom *wissenschaftlichen Realismus* (Günther, 2006) abgrenzen. Der wissenschaftliche Realismus geht von einer objektiv existierenden Welt aus, die durch Modelle repräsentiert wird, wie sie ´in Wahrheit` ist. Van Fraassen (1980) dagegen betont, dass ein Individuum von ´Wahrheit` nur bei den Aspekten der Welt reden kann, die es auch persönlich erfahren hat. Er ersetzt den Begriff der Wahrheit daher durch ´empirische Adäquatheit`. Mit den Sinnesorganen aufgenommene Aspekte der Umwelt können mit Modellen empirisch adäquat beschrieben werden. Demnach liegen Modellen keine realen Originale einer objektiv existierenden Wirklichkeit zugrunde, sondern die *Vorstellungen* eines Individuums über das Original (zum Begriff der Vorstellung siehe Kapitel 2.3). Die Wirklichkeit wird unter dieser Perspektive mithilfe von Modellen konstruiert. Nach Giere (1999, S. 7) kann das Verhältnis zwischen Modell und konstruierter Realität nicht objektiv mit den Eigenschaften von Modell und Original beschrieben werden, sondern ist immer das Ergebnis eines Interpretationsprozesses durch die Modellbetrachter: „judging the fit of a model to the world is a matter of decision, not logical inference.“

² Andere Autoren fassen den Begriff des mentalen Modells enger und definieren es als ein internes bildhaftes Objekt neben der propositionalen Darstellung von Wissen im Gehirn (Mayer, 1994; Schnotz, 1994).

2.1.2 Externale Modellbildung

Mentale Modelle können durch ein Subjekt in externe Modelle transformiert werden. Dieses Externalisieren ist Grundlage der *Kommunikation* im Sinne eines „Sich-mit-anderen-Verständigens“ (Seel, 1991, S. 154). Dabei versucht ein Individuum als Sender sein mentales Modell anderen Personen als Empfänger mithilfe geeigneter externer Modelle sichtbar oder hörbar zu machen (Oeser, 1988). Beispiele für externe Modelle sind die gesprochene und geschriebene Sprache, Zeichnungen, gegenständliche Modelle, mathematische Formeln oder Handlungen (Gesten, Animationen; Buckley & Boulter, 2000). Diese externen Modelle ermöglichen dem Empfänger somit einen Zugang zu den mentalen Modellen des Senders. Gleichzeitig kann das Externalisieren der *Selbstkommunikation* dienen, wenn eine Person bei sich selbst Verständnis über ein Phänomen erzeugen möchte. Die Modellform kann in diesem Fall individuell ohne Rücksicht auf einen Empfänger gewählt werden (Hanke, 2006). Bei beiden Kommunikationsformen muss aus methodischer Sicht beachtet werden, dass mentale Modelle bei der Externalisierung unentwegt umstrukturiert und geformt werden (Justi & Gilbert, 2002). Als dynamische kognitive Strukturen sind sie dadurch schwer zugänglich und nur indirekt über ihre externalisierte Form untersuchbar (Harrison & Treagust, 2000; Al-Diban, 2002, S. 109). Ebenso kann sich das externe Modell vom letztlich zugrundeliegenden mentalen Modell mit der Zeit immer weiter distanzieren, beispielsweise durch Beschädigungs- und Verbesserungsprozesse. Mahr (2008) bezeichnet deshalb den konkret als Modell aufgefassten Gegenstand als *Modellobjekt*, um ihn von der zugrundeliegenden Modellidee abzugrenzen. Das Verhältnis zwischen beiden bestehe darin, dass das Modell durch das Modellobjekt repräsentiert wird (Mahr, 2009, S. 235).

Stachowiak (1973) unterscheidet in seiner „Theorie der semantischen Stufen“ verschiedene Ebenen externer Modelle:

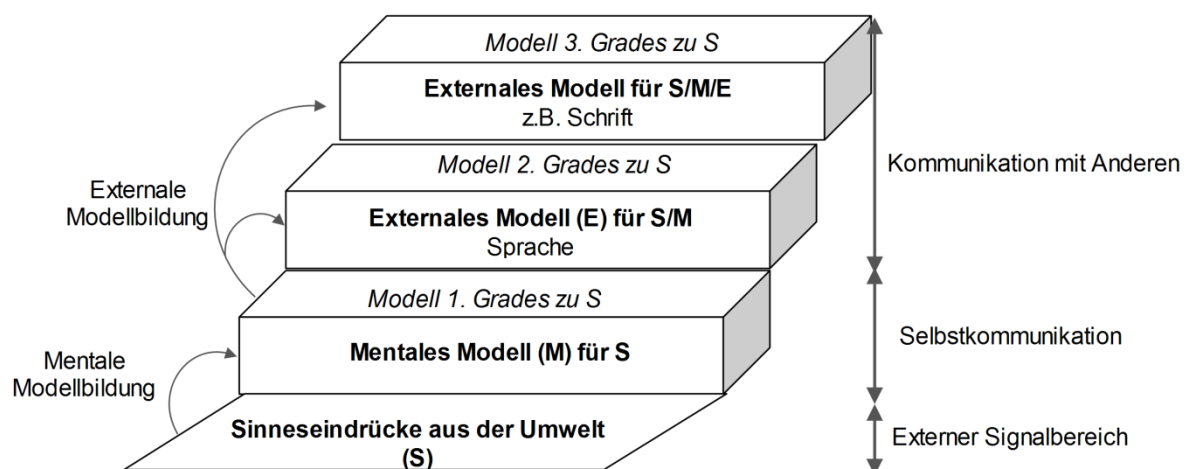


Abb. 2: Theorie der semantischen Stufen (stark verändert nach Stachowiak, 1973, S. 218).

Aus Abb. 2 wird deutlich, dass Modelle der dritten semantischen Stufe in variable Formate externalisiert werden können, wie beispielsweise in die Schriftsprache. Sie gehen aus den ausschließlich mündlichen Modellen der zweiten Stufe hervor. Die perzeptuellen Informationen umfassen die nullte semantische Stufe, da sie für das Subjekt noch unverarbeitet vorliegen. Das ändert sich durch die mentale Modellbildung auf dem Weg zur ersten semantischen Stufe. Bei dem Übersetzungsprozess von den sprachlichen Modellen der zweiten semantischen Stufe zu schriftlichen Modellen der dritten Stufe wird das Arbeitsgedächtnis nach Hanke (2006, S. 37) zusätzlich belastet. Ähnliches berichten Leutner und Opfermann (2013), wonach das mentale Vorstellen im Vergleich zum Zeichnen kognitiv weniger belastend ist.

Neben der Theorie der semantischen Stufen definiert Stachowiak (1973, S. 131 f.) in seiner „Allgemeinen Modelltheorie“ den Begriff *Modell* mit den drei Hauptmerkmalen der Abbildung, Verkürzung und Pragmatik. Entsprechend des *pragmatischen Merkmals* sind Modelle an die zweckgerichteten gedanklichen und externalen Modellbildungsprozesse ihrer Erschaffer und Verwender innerhalb bestimmter Zeitintervalle gebunden. Das Resultat dieser Prozesse sind Modelle, die Aspekte der perzeptuellen Informationen repräsentieren (*Abbildungsmerkmal*). Einige Merkmale der perzeptuellen Informationen, die in diesem Abbildungsprozess durch den Modellierer weggelassen werden, heißen innerhalb des *Verkürzungsmerkmals* *präterierte Attribute* (*präterieren*: auslassen, vgl. Duden, 1997, S. 653). Gleichzeitig weist ein externalisiertes Modell Eigenschaften auf, die über die perzeptuellen Informationen hinausgehen. Diese werden als *abundante Attribute* bezeichnet (lat. *abundant*: reichlich, vgl. Duden, 1997, S. 27). Zusammenfassend definiert Stachowiak (1983, S. 118) den Modellbegriff mit den vier Fragen wovon, für wen, wann und wozu etwas ein Modell ist: „X ist Modell des Originals Y für den Verwender v in der Zeitspanne t bezüglich der Intention Z“. In dieser Definition wird ein triadisches Verhältnis zwischen Original und Modell deutlich, da der Intention des modellierenden Subjekts Bedeutung beigemessen wird (Knuuttila, 2005)³.

2.1.3 Erkenntnisgenerierende Modellbildung

Mahr (2009) urteilt, dass sich die durch Stachowiak (1973) beschriebenen Modellmerkmale der Abbildung, Verkürzung und Pragmatik auf eine reine *Herstellungsperspektive* beschränken. Diese betrachtet Modelle als *Modelle von etwas*, da induktiv Wissen über ein Phänomen in das Modell integriert wird (Abb.3). Beispielsweise arbeiten im „*cardiome project*“ (Freedman, 2004) seit Jahren internationale

³ Vom triadischen Verhältnis zwischen Modell und Original lässt sich das dyadische in früheren Arbeiten von van Fraassen (1980) und Giere (1988) abgrenzen. Dieses Repräsentationsverhältnis betrachtet lediglich das Ähnlichkeitsverhältnis zwischen Phänomen und Modell. Eine Übersicht hierzu findet sich bei Krell (2013, S. 16 ff.).

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler interdisziplinär zusammen, um ein möglichst naturgetreues virtuelles Computermodell des menschlichen Herzens zu konstruieren. Mithilfe unzähliger Datensätze über das menschliche Herz, beispielsweise mit den Verfahren der Computer- und Magnetresonanztomographie und dem Elektrokardiogramm oder mithilfe von Ultraschallaufnahmen gewonnen, soll das komplette Organ mit jeder einzelnen Herzmuskelzelle und allen Strukturen und Funktionen bildlich dargestellt werden. Diese retrospektive Auffassung von Modellen als Abbild eines Phänomens wird durch Mahr (2009) um eine prospektive Sicht über das Modell als Vorbild für neue Erkenntnisse zusätzlich ausgeführt. Demnach wenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein externalisiertes Modellobjekt im Rahmen einer Untersuchung an, um inhärente Hypothesen zu testen und dabei neue Erkenntnisse über ein Phänomen deduktiv abzuleiten (*Anwendungsperspektive*, Abb.3; Mahr, 2009). Wissenschaftliches Arbeiten ist daher auch ein Konstruieren, Testen und Ändern von Modellen mit dem Ziel, Phänomene zu erklären und vorherzusagen (Giere, 1988; Hestenes, 1992). Im „*cardiome project*“ generieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mithilfe des Computermodells neue Erkenntnisse zur Diagnose und Therapie von Herzerkrankungen, ohne dabei Patienten zu gefährden. Das Beispiel verdeutlicht, dass das externalisierte Modell zu einer neuen Informationsquelle über das menschliche Herz wird (*Anwendungsperspektive*). Verschiedene Modelle zu neuen Therapieformen müssen sich im wissenschaftlichen Diskurs behaupten, bevor sie wissenschaftlich anerkannt sind (Gilbert & Boulter, 1998).

Erst durch diese doppelte Beziehung des Modells *von* und *für etwas* kann von einem Modell gesprochen werden (Mahr, 2009). Da ein Subjekt alles zu einem Modell erklären kann beziehungsweise unter bestimmten Bedingungen als Modell auffasst, spricht Mahr (2008) von *Modellsein*.

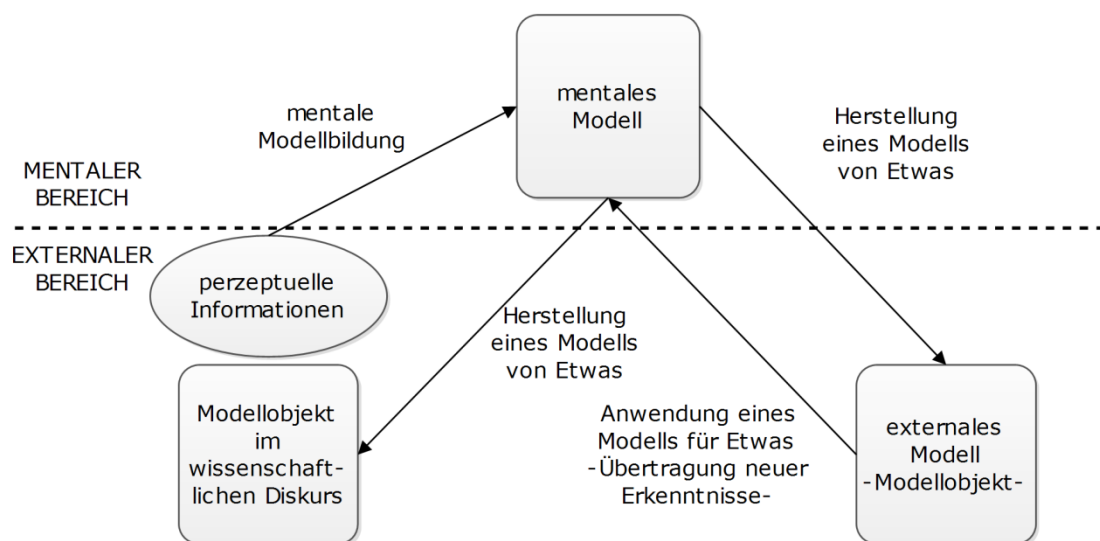


Abb.3: Modellsein durch die Kombination von Herstellungs- und Anwendungsperspektive.

Zusammenfassend ist die Modellbildung also grundlegender Bestandteil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Dabei ablaufende Prozeduren sind das Formulieren einer naturwissenschaftlichen Frage, das Generieren einer Hypothese, das Planen und die Durchführung der Untersuchung sowie das Analysieren der Daten und das Ziehen von Schlussfolgerungen (Mayer, 2007). Dabei wird von einer hypothetisch-deduktiven Vorgehensweise gesprochen, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre, auf einer Frage basierenden, Vermutung an der Realität prüfen (von Falkenhausen, 1988).

Modell und Theorie

Familien von Modellen, die wissenschaftliche Erkenntnisse zu einem bestimmten Aspekt repräsentieren, können eine Theorie bilden (Nersessian, 1999). Eine Theorie ist demnach keine reine Bündelung von Aussagesätzen, wie vorwiegend zwischen 1920 bis 1950 in der *syntaktischen Sichtweise* zu wissenschaftlichen Theorien angenommen (Develaki, 2007). Dort wurden Theorien als syntaktische Gebilde betrachtet, deren Semantik sich erst sekundär durch die sprachliche Verknüpfung mit dem Phänomen erschloss (Morrison & Morgan, 1999). Modelle dienten dabei lediglich als ästhetisch-didaktisches Hilfsmittel (Carnap, 1973). Die moderne Wissenschaftstheorie fokussiert seit den siebziger Jahren die Semantik der Sätze mit Modellen als Bedeutungsträger. Entsprechend dem *model-based view of scientific theory and scientific inquiry* ist die Theoriebildung und Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften häufig mit Modellen verbunden (Oh & Oh, 2011). Einflussreichste Vertreter dieser Sichtweise sind Ronald Giere und Bas van Fraassen. Giere (1988, S. 85) definiert naturwissenschaftliche Theorien mithilfe von zwei Elementen: „(1) a population of models, and (2) various hypotheses linking those models with systems in the real world.“ Die Sprache wird nach Giere (1988) erst sekundär bei der Bildung von Hypothesen zur Verbindung von Modellen mit der konstruierten Realität notwendig. Trotz unterschiedlicher Meinungen zum Verhältnis zwischen Modell und Original (Kapitel 2.1.1) eint verschiedene Vertreterinnen und Vertreter der semantischen Sichtweise die Überzeugung, dass Modelle als zentrale Elemente naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung die Beziehung zwischen Theorie und aufgefasster Welt herstellen (Downes, 1992).

2.1.4 Prozess der Modellbildung

Die bisherigen Ausführungen zur mentalen, externalen und erkenntnisgenerierenden Modellbildung lassen sich mithilfe eines Ablaufschemas zur Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) kombinieren und konkretisieren.⁴ Es baut auf der Arbeit von John Clement (1989) auf, der zunächst einzelne Schritte der Modellbildung auf Grundlage einer theoretischen Recherche zusammenfasste und diese anschließend empirisch überprüfte. Dazu wertete er Protokolle des Lauten Denkens verschiedener Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus, die eine wissenschaftliche Untersuchung durchführten. Grundlegend für das Schema zur Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) ist, dass es den Modellbildungsprozess nicht als eine sequentielle Abfolge festgelegter Schritte beschreibt, sondern flexibel und gleichzeitig zusammenhängend darstellt. Abb. 4 veranschaulicht diesen Prozess, der mit der Bestimmung eines Zwecks durch das modellbildende Subjekt beginnt. Modelle können beispielsweise deskriptiv genutzt werden, wobei die Strukturen oder Funktionen eines Originals visualisiert und erklärt werden. Zum anderen kann ein prospektiver Zweck gewählt werden, um mithilfe des Modells neue Erkenntnisse über das Original zu generieren (Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003; Kapitel 2.1.3). Der gewählte Zweck ist Ausgangspunkt der folgenden *mental*en Modellbildung (Kapitel 2.1). Entsprechend des Schemas zur Modellbildung ist sie ein dynamischer Prozess, bei dem persönliche Erfahrungen des modellbildenden Subjekts mit dem Phänomen organisiert und bereits bekannte Modelle und Analogien selektiert werden. In Abhängigkeit dieser individuellen Ausgangslage gleicht das mentale Modell einem bereits bekannten Modell, repräsentiert es auf veränderte Weise oder entwickelt sich eigenständig neu (Justi & Gilbert, 2002).

⁴ Auch Fleige et al. (2012) entwickelten ein Schema zur Erkenntnisgewinnung mit Modellen, um Interventionsmaßnahmen zur Förderung des Modellverständnisses von Referendarinnen und Referendaren sowie Schülerinnen und Schüler zu entwickeln. Laut Schema werden aus bereits konstruierten Modellen die Hypothesen zum Phänomen abgeleitet. Die vorliegende Arbeit fokussiert den Schritt der Hypothesenbildung bereits vor der eigentlichen Modellkonstruktion, da diese als Prozess der Erkenntnisgewinnung auf hypothetisch-deduktive Weise erfolgt (Mayer, 2007, Kapitel 2.1.3).

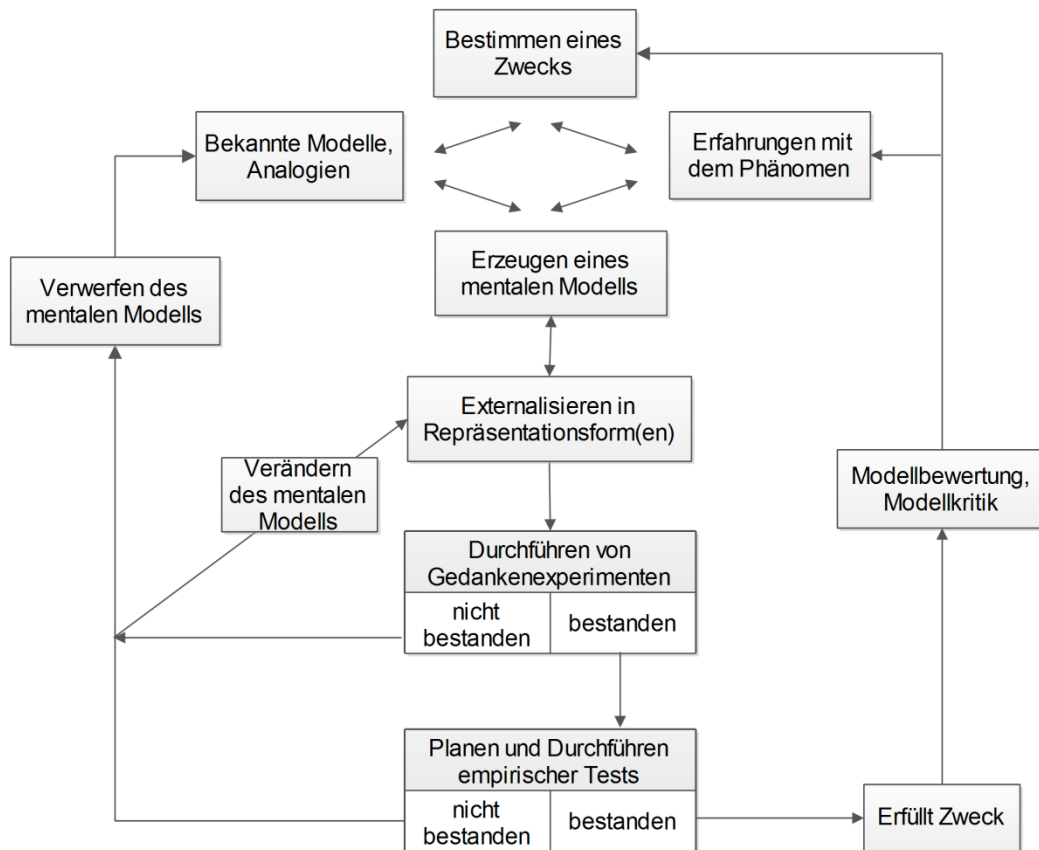


Abb. 4: Modell der Modellbildung (nach Justi & Gilbert, 2002, S. 371; übersetzt J.O.).

Im nächsten Schritt wird das mentale Modell beispielsweise materiell, visuell, verbal oder mathematisch externalisiert (Buckley & Boulter, 2000; Kapitel 2.1.2), wobei es fortlaufend konkretisiert und vervollständigt wird (Justi & Gilbert, 2002). Das externalisierte Modell wird erst gedanklich durch den Modellierer und bei zufriedenstellendem Ergebnis auf empirische Weise getestet. Bei den empirischen Tests werden Daten in Bezug auf das Modell generiert, analysiert und evaluiert. Der Prozess der Modellbildung kann daher weitere wissenschaftliche Arbeitsweisen umfassen, wie beispielsweise Beobachtungen oder empirische Experimente (Halloun, 2006). Die Untersuchungen sind erfolgreich, wenn das Modell den gewählten Zweck der ModelliererIn oder des Modellierers erfüllt. Abschließend erfolgt eine Modellbewertung und -kritik mit Blick auf diesen Zweck und die initiale mentale Modellbildung. Beweist sich das Modell während des gedanklichen und empirischen Testens nicht wie ursprünglich durch das modellierende Subjekt angenommen, wird in beiden Fällen das mentale Modell entweder geändert oder ganz verworfen. Bei Letzterem wird der Modellbildungsprozess wieder von vorn begonnen.

2.2 Modellbildung im Kontext Schule

Sowohl in der Wissenschaftsphilosophie (Giare, 1988; Nersessian, 2002) als auch in der amerikanischen und europäischen Bildungsforschung (Duschl & Hamilton, 1998; White & Frederiksen, 1998; Clement, 2000; Gilbert & Boulter, 2000; Gobert & Buckley, 2000; Harrison & Treagust, 2000; Lehrer & Schauble, 2006) werden die beschriebenen Modellbildungsprozesse als entscheidend für das naturwissenschaftliche Lehren und Lernen gesehen. Insbesondere die selbstständige Durchführung der Modellbildung mit den Schritten der Konstruktion, des Testens und Änderns von Modellen wird als bedeutend beschrieben, da sie zu den drei grundlegenden Zielen naturwissenschaftlichen Unterrichts nach Hodson (1993, 2014) führen: *learning to do science*, *learning science* und *learning about science* (vgl. Gilbert & Boulter, 2000; Lesh & Doerr, 2000; Justi & Gilbert, 2002; van Driel und Verloop, 2002; Stewart, Cartier & Passmore, 2005; Schwarz & White, 2005; Henze et al., 2007).

1. Erlernen von Fähigkeiten zur Erkenntnisgewinnung (*learning to do science*)

Die praktische Durchführung der Modellbildung (*modeling*) unterstützt das Erlernen von Fähigkeiten zur Erkenntnisgewinnung (*learning to do science*). Harrison und Treagust (2000) beschreiben die Modellbildung als erlernbar, weil sich die zugrundeliegenden intellektuellen Fähigkeiten im Prozess durch Unterstützung zunehmend verbessern.

2. Aufbau von Fachwissen (*learning science*)

Im Prozess der Modellbildung setzen sich die Schülerinnen und Schüler mit den verschiedensten Modellen auseinander (*learning scientific models*) und entwickeln Fachwissen (*learning science*). Die Konstruktion, Nutzung und Diskussion verschiedener Modelle zu einem Phänomen reduzieren die Beanspruchung des Gedächtnisses in bestimmten Situationen (Nersessian, 1999) und unterstützen die Schülerinnen und Schüler bei der Bildung ihrer mentalen Modelle (Nersessian, 1999; Buckley & Boulter, 2000).

3. Aufbau von Wissenschaftsverständnis (*learning about science*)

Während der Modellbildung stattfindende Reflexionen zu Modellen und zum Prozess der Modellbildung (*learning about models*) fördern das Modellverständnis als Bestandteil des Wissenschaftsverständnisses (*learning about science*, Kapitel 2.2.3).

Die beschriebenen Wirkungen der Modellbildung auf die Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts nach Hodson (1993, 2014) werden in Abb. 5 zusammenfassend dargestellt.

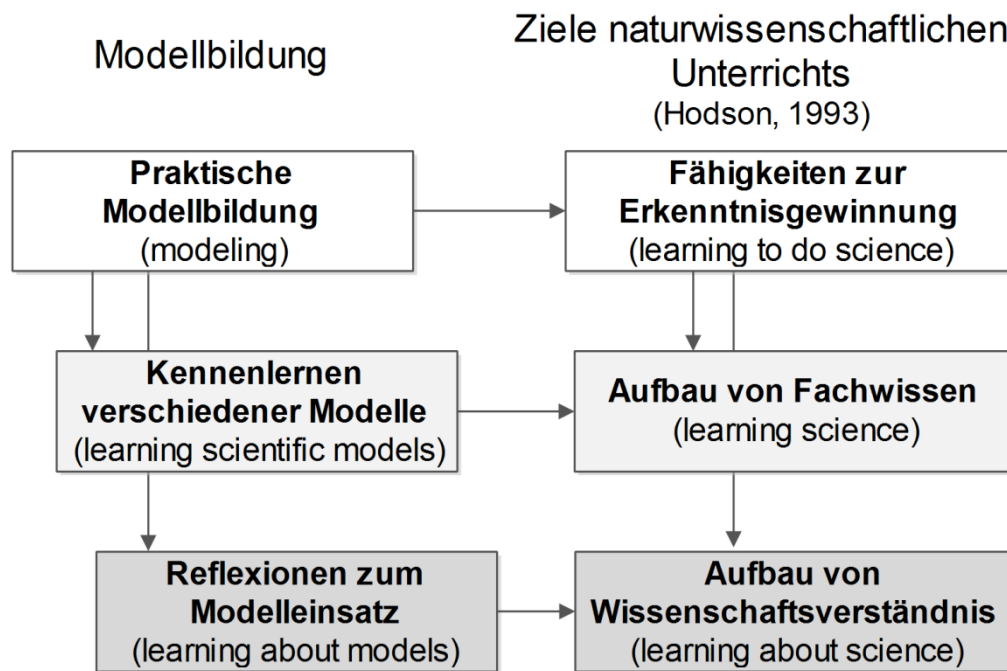


Abb. 5: Positive Wirkungen der praktischen Modellbildung auf die Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts nach Hodson (1993, 2014).

Harrison und Treagust (2000) stellen zusammenfassend fest, dass die Wissenschaft ohne Modelle als deren Produkte und die Modellbildung als wissenschaftliche Methode weder lehr- noch lernbar ist. Die vorliegende Arbeit widmet sich dem Einfluss der selbstständigen Modellkonstruktion auf das Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern.

2.2.1 Praktische Modellbildung

Die Bildungsstandards fokussieren im Bereich der Erkenntnisgewinnung die *Nutzung von Modellen* (KMK, 2005: E9-E13, S. 12f.). Die Schülerinnen und Schüler sollen Modelle zum einen zur Veranschaulichung, zur Analyse von Wechselwirkungen und zur Beschreibung von Zusammenhängen nutzen. Zum anderen sollen sie dynamische Prozesse mit Hilfe von Modellvorstellungen erklären und die Aussagekraft von Modellen beurteilen. Neben der Nutzung ist die eigenständige *Entwicklung und Weiterentwicklung* von Modellen eine weitere prozedurale Kompetenz. Morrison und Morgan (1999) stellen diesbezüglich fest: „We do not learn much from looking at a model – we learn more from building the model and from manipulating it“ (S. 129).

Das Schema zur Modellbildung von Justi und Gilbert (2002, Kapitel 2.1.4) wird als hilfreich für die Konzipierung und Analyse von Lerngelegenheiten zur Modellbildung gesehen, da es die grundlegenden Schritte flexibel und gleichzeitig zusammenhängend darstellt (Justi & Gilbert, 2003; Maia & Justi, 2009; Mendonca & Justi, 2011). Die konkrete Umsetzung der externalen Modellbildung kann mittels gesprochener und

geschriebener Sprache, Zeichnungen, gegenständlicher Modelle, mathematischer Formeln oder Handlungen (Gesten, Animationen) umgesetzt werden (Buckley & Boulter, 2000; Kapitel 2.1.2). In empirischen Studien kommen zunehmend auch computerbasierte Modellbildungen zum Einsatz (z. B. Jackson et al., 1994; Raghavan & Glaser, 1995; Gobert & Pallant, 2004). Diese weisen jedoch für Schülerinnen und Schüler eine hohe kognitive Herausforderung auf, da die Bedienung der spezifischen Software verstanden werden muss und oft mathematisches Wissen zur Konstruktion quantitativer Modelle oder zur Interpretation konstruierter Diagramme notwendig ist (Feuerzeig, 1999). Dagegen stellen das Zeichnen von Modellen, das Konstruieren mit verschiedenen Materialien und das Verbalisieren von Denkmodellen die geringsten Anforderungen an Novizen in der Modellbildung (Sins, Savelsbergh & van Joolingen, 2005; Maia & Justi, 2009; Leutner & Opfermann, 2013). Außerdem sind diese drei Formen der Modellbildung hinsichtlich eines zeitlichen, materiellen und organisatorischen Aufwands für den Schulkontext praktikabel. Daher fokussiert die vorliegende Untersuchung verbale, gegenständliche und grafische Formen der externalen Modellbildung.

Das Zeichnen ist eine nonverbale, zweidimensionale Form der Modellierung. Im Schulkontext bietet sich der Vorteil, dass nur Papier und Stifte notwendig sind und somit der materielle, organisatorische und zeitliche Aufwand eingegrenzt sind (Leopold & Leutner, 2012). In der naturwissenschaftlichen Bildung und Forschung wurde das Zeichnen bisher hauptsächlich zur Wiedergabe und Erfassung von Wissen genutzt (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). Denn als eine visuelle Lernstrategie (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011) bietet das Zeichnen die Möglichkeit, dass räumliche Informationen, abstrakte Zusammenhänge und neue Ideen zu einem Phänomen in eine bildlich erklärende und konkrete Darstellung übersetzt werden können (van Meter & Garner, 2005). Dabei werden das bestehende Vorwissen aktiviert und organisiert (Leopold & Leutner, 2012) sowie neue Fragen und Vermutungen generiert (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Auf diese Weise unterstützt das Zeichnen die Bildung von mentalen Modellen zum Phänomen. Resultat sind komplexe Vorstellungen, die beispielsweise mit Interviews erfasst werden können (van Meter & Garner, 2005). Sins, Savelsbergh und van Joolingen (2005) stellen heraus, dass die grafische Modellbildung die geringsten Anforderungen an Novizen in der Modellbildung stellt. Außerdem kann sie eine günstige Basis für weitere Modellierungen sein (Ainsworth, 2006). Zu gegenständlichen und verbalen Formen der Modellierung sind vergleichsweise nur wenige theoretische Ausführungen zu finden. Bezüglich der gegenständlichen Modellbildung wird wie beim Zeichnen davon ausgegangen, dass individuelle Vorstellungen zum Phänomen im Prozess externalisiert und weitergedacht werden (Maia & Justi, 2009; Leutner & Opfermann, 2013). Als nachteilig erweist sich der materielle, zeitliche und organisatorische Aufwand. Das Verbalisieren ist nach Leutner und Opfermann (2013) sowie Hanke (2006) im Vergleich

zur grafischen und gegenständlichen Modellbildung kognitiv weniger belastend (vgl. *Theorie der semantischen Stufen* nach Stachowiak, 1973, Abb. 2). Zudem wird der durch Leenars et al. (2013) benannte *Fokuseffekt* minimiert. Demnach fokussieren Modellierer bei gegenständlichen und grafischen Modellierungen vorwiegend auf die wichtigsten Informationen des Phänomens im Modellobjekt, um das Arbeitsgedächtnis zu entlasten. Alternative Modelle werden dadurch weniger in Betracht gezogen.

2.2.2 Modellverständnis

Internationale und nationale Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht, wie die *Next Generation Science Standards* (NGSS Achieve Inc., 2013) oder die deutschen Bildungsstandards (KMK, 2005), betonen die herausragende Bedeutung eines angemessenen Verständnisses der Natur der Naturwissenschaften (*nature of science*) für eine naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*). Demnach sollen Lernende die charakteristischen Grundzüge der Erkenntnisgewinnung (*scientific inquiry*) und die Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens (*epistemologische Grundannahmen*⁵ nach Vosniadou & Ioannides, 1998) verstehen (Driver et al., 1996; OECD, 2000; Abd-El-Khalick et al., 2004). Nur so können sie in einer Zeit des täglichen Fortschritts in der Forschung die Naturwissenschaft als einen Weg der Welterschließung erkennen, naturwissenschaftliches Wissen kritisch hinterfragen und sinnvoll in persönliche Entscheidungsfindungen sowie den gesellschaftlichen Diskurs einbringen (AAAS, 1993; Bybee, 1997). Obwohl es keine universelle Natur der Naturwissenschaften gibt, da jede wissenschaftliche Disziplin eigene methodische und epistemologische Aspekte wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung aufweist (Rudolph, 2000), eint alle Disziplinen die Konstruktion sowie das Testen und Ändern von Modellen, um naturwissenschaftliche Phänomene zu verstehen (Giere, 1988; Harrison & Treagust, 2000). Daher führen wissenschaftstheoretische Reflexionen über die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Modelle und erkenntnistheoretische Reflexionen über den Prozess und die Bedeutung der Modellbildung im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess zu einem Modellverständnis (vgl. *metamodeling knowledge*; Schwarz & White, 2005) als Bestandteil eines Wissenschaftsverständnisses (Gilbert, 1991; Treagust, Chittleborough & Mamalia, 2002). Ein ausgeprägtes Modellverständnis zeichnet sich nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009, S. 636; Tab. 1) dadurch aus, dass Schülerinnen und Schüler die Modellbildung als grundlegende Methode naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung mit der Notwendigkeit begreifen, Modelle empirisch zu testen und bei neuen Erkenntnissen zu ändern. Ferner sollen sie Modelle als Abstraktionen eines Originals

⁵ Epistemologische Überzeugungen beziehen sich auf Fragen, wie Wissen in einem Erkenntnisprozess zustande kommt. Ontologische Annahmen betreffen die Existenz bestimmter Entitäten (Vosniadou & Ioannides, 1998).

verstehen und das Vorhandensein verschiedener Modelle zu einem Phänomen erkennen. Diese Charakterisierung des Modellverständnisses nach Schwarz und Team (2009) beruht auf empirischen Studien zur Modellbildung (Schwarz & White, 2005) und zum Wissenschaftsverständnis (Abd-El-Khalick et al., 2004; Ledermann, 2008) sowie auf Steuerelementen (AAAS, 1993).

Tab. 1: Komponenten des Modellverständnisses (*metamodeling knowledge*) nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009, S. 636; Übersetzung und Kürzung durch J.O.).

<p>Eigenschaften von Modellen</p> <p>Modelle können nicht sichtbare und nicht zugängliche Merkmale und Prozesse zeigen. Verschiedene Modelle können verschiedene Vorteile bieten. Modelle weisen bei der Repräsentation eines Phänomens ihre Grenzen auf. Modelle können mit wachsendem Verständnis über das Phänomen geändert werden. Es gibt verschiedene Modelltypen, z. B. Diagramme, materielle Modelle, Simulationen.</p>
<p>Zweck von Modellen</p> <p>Modelle sind Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung. Modelle sind Kommunikationsmittel zur Förderung von Verständnis und Wissen. Modelle dienen der Vorhersage, Illustration und Erklärung eines Phänomens.</p>
<p>Kriterien für die Bewertung und Überarbeitung von Modellen</p> <p>Modelle müssen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen über das Phänomen beruhen. Modelle umfassen nur das, was für ihren Zweck relevant ist.</p>

Nach Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009) führt solch ein Modellverständnis gleichzeitig zu einem epistemologischen Verständnis nach Lederman (2008): Modelle als Produkte von Wissenschaft spiegeln den vorläufigen, subjektiven und kreativen Charakter naturwissenschaftlichen Wissens wider. Modelle als Methode von Wissenschaft werden in einem sozialen und kulturellen Rahmen kontinuierlich (weiter-) entwickelt und unterstützen die Rechtfertigung des integrierten naturwissenschaftlichen Wissens.

2.2.3 Praktische Modellbildung und Modellverständnis

Verschiedene Autorinnen und Autoren beschreiben theoretisch eine positive Wirkung der praktischen Durchführung der Modellbildung auf das Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern. Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991, S. 820) stellen fest: „In this way students would have the opportunity to learn that a model can be used as a tool of inquiry and that it is not simply a package of facts about the world that needs to be memorized.“

Schwarz und Team (2009) gehen davon aus, dass die praktischen Schritte der Modellkonstruktion sowie das Testen, Ändern und Nutzen von Modellen (*Elements of the Practice*) direkt mit dem Modellverständnis interagieren (*Metamodeling Knowledge*, Abb.

6). Diese Interaktion beschreiben die Autoren als eine Form gegenseitiger Bedingung und Verstärkung.

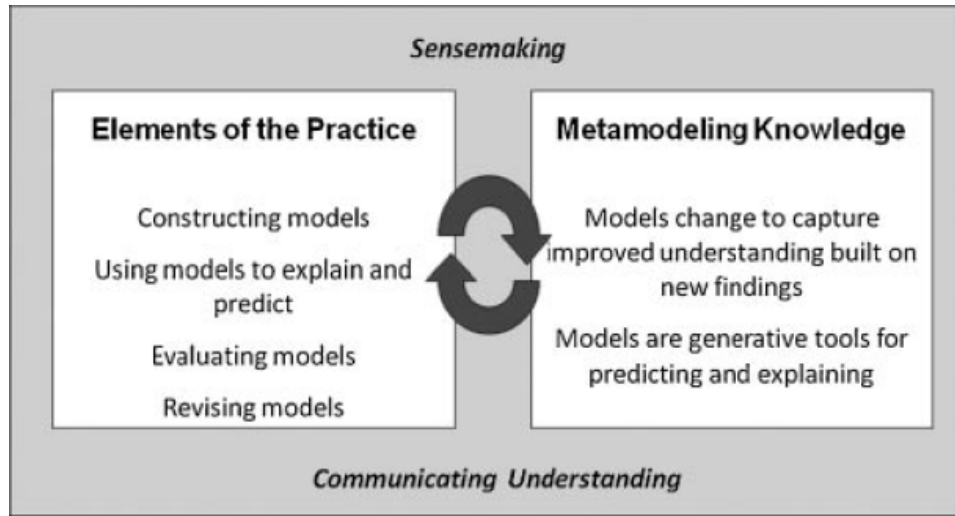


Abb. 6: Die praktische Modellbildung und das Modellverständnis als miteinander interagierende Elemente mit den Zwecken *sensemaking* und *communicating Understanding* (Schwarz et al., 2009).

Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Interaktion zwischen der praktischen Modellbildung und dem Modellverständnis zur Kommunikation (*communicating understanding*) und/oder Bedeutungserzeugung (*sensemaking*) führen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Einsatzmöglichkeiten betrifft die Rolle des Adressaten. Im Falle des *sensemaking* konstruiert ein Subjekt ein Modell für sich selbst, um ein Phänomen zu verstehen. Bei der *communication* möchte der Modellierer seine Ideen mithilfe des Modells anderen mitteilen und sie davon überzeugen (Kapitel 2.1.2).

Eine weitere theoretische Ausführung zum Zusammenhang zwischen der praktischen Modellbildung und dem Modellverständnis liefert Meisert (2008). Sie bezeichnet die in Kapitel 2.2 vorgestellten, modellbasierten Lernbereiche „praktische Modellbildung“, „Kennenlernen verschiedener Modelle“ und „Aufbau von Modellverständnis“ als *Modellarbeit*, *Modellwissen* und *Modellverständnis* und stellt Zusammenhänge zwischen ihnen her (Abb. 7).

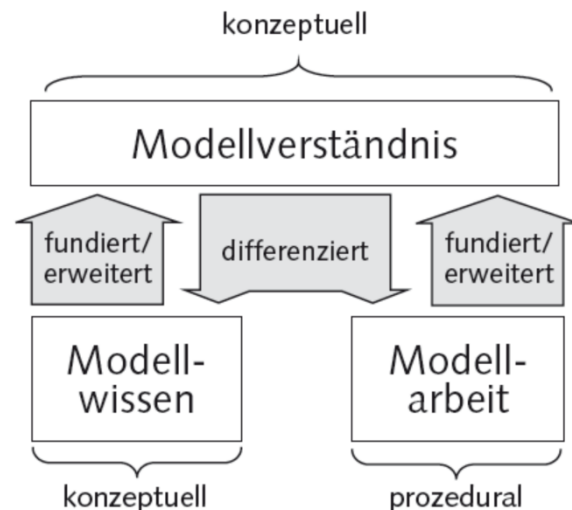


Abb. 7: Modellbasierte Lernbereiche nach Meisert (2008) mit direkter Wirkung der Modellarbeit auf das Modellverständnis.

Dem Modellverständnis misst Meisert (2008) eine übergeordnete Bedeutung zu, da es eine Schlüsselrolle bezüglich eines generellen Wissenschaftsverständnisses einnehme. Aus diesem Grund fordert sie spezielle Anregungen zu dessen Förderung (Meisert, 2009, S. 425). Die Autorin geht davon aus, dass eine Förderung der Modellarbeit als basaler Lernbereich das Modellverständnis fundiert und erweitert⁶. Als empirischen Beleg führt sie die Studie von Penner und Kolleginnen und Kollegen (1997) an. Hier sollten Grundschülerinnen und -schüler ein eigenes Modell zum Ellbogen konstruieren sowie in Klassendiskussionen testen und folgend ändern. Die Probandinnen und Probanden äußerten im Anschluss, dass Modelle...

- ... wie das zugrundeliegende Phänomen funktionieren müssen,
- ... geändert werden, um das verbesserte Verständnis modellbildender Personen wiederzugeben
- und alternative Modelle zu einem Phänomen wichtig sind, um verschiedene Aspekte eines Phänomens zu zeigen (Penner et al., 1997, S. 140).

Diese Schülervorstellungen können jedoch weder als ein Modellverständnis im bereits definierten Sinn verstanden werden (Kapitel 2.2.2), noch kann durch die Klassendiskussionen mit Input der Lehrkraft ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Modellarbeit und dem Modellverständnis aufgezeigt werden. Meisert (2008) selbst definiert das Modellverständnis wesentlich enger als in Kapitel 2.2.2 ausgeführt, indem

⁶ Für einen Zusammenhang zwischen einem ausgeprägten Modellverständnis und der Qualität von Modellbildungsprozessen gibt es nur wenige empirische Belege (Sins et al., 2009, S. 1206). Jackson und Kolleginnen und Kollegen (1994, S. 233) berichten einen weiteren Zusammenhang zwischen der Modellarbeit und dem Modellwissen.

sie die Unterscheidung zwischen Modellen und Nicht-Modellen als einen „Schlüsselaspekt“ von Modellverständnis beschreibt (S. 246). Diese Unterscheidung widerspricht Mahrs (2008) Auffassung vom *Modellsein*, wonach ein Subjekt unter bestimmten Bedingungen alles zu einem Modell erklären kann (Kapitel 2.1.3).

Als weiteren theoretischen Beleg für einen Zusammenhang zwischen der erkenntnisgenerierenden Modellbildung und dem Wissenschaftsverständnis wird das Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen nach Mayer (2007) herangezogen. Es fasst die Standards zur Erkenntnisgewinnung für das Fach Biologie in den drei Dimensionen *Charakteristika der Naturwissenschaften*, *wissenschaftliche Untersuchungen* und *wissenschaftliche Arbeitstechniken* zusammen und ordnet sie den Kompetenzkonstrukten *Wissenschaftsverständnis*, *wissenschaftliches Denken* und *manuelle Fertigkeiten* zu (Abb. 8).

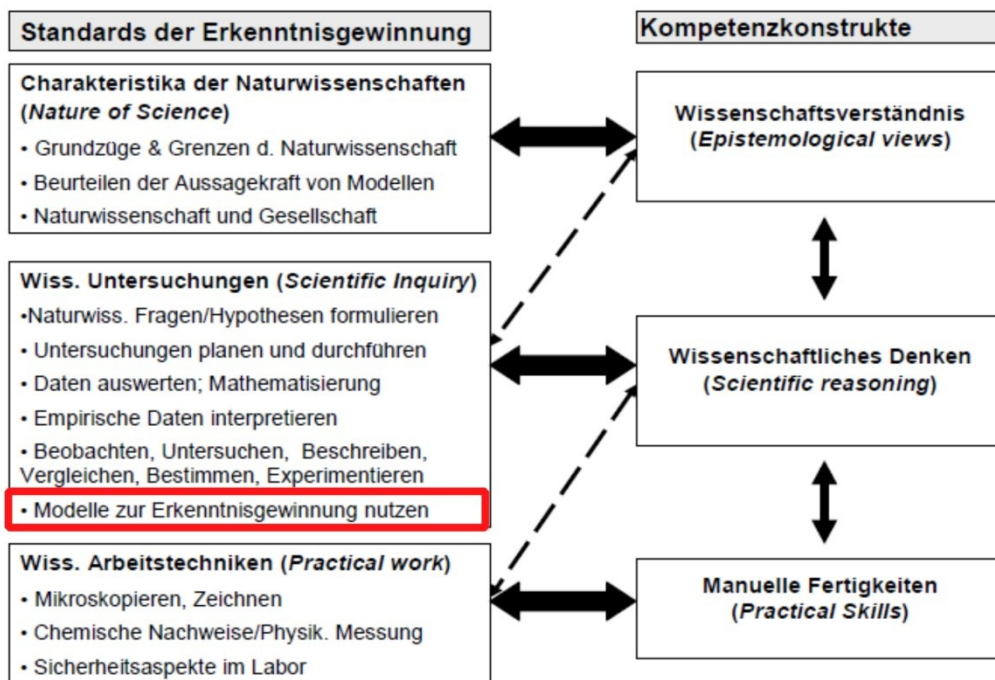


Abb. 8: Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen mit einer Wechselbeziehung zwischen einer erkenntnisgenerierenden Modellnutzung und dem Wissenschaftsverständnis (Mayer, 2007).

Demnach entwickelt sich die Fähigkeit zur Erkenntnisgewinnung mit Modellen als eine Form wissenschaftlichen Denkens in Wechselbeziehung sowohl mit den manuellen Fertigkeiten als auch mit dem Wissenschaftsverständnis. Kremer (2010) stellte im Rahmen ihrer Dissertation einen signifikanten Einfluss des Naturwissenschaftsverständnisses auf die Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken fest. Sie schlussfolgert, „dass eine simultane Förderung von Naturwissenschaftsverständnis und wissenschaftlichem Denken der richtige Weg ist, um eine optimale Kompetenz im Bereich

der Erkenntnisgewinnung auf Seiten des Lernenden herauszubilden" (S. 147). Im deutschsprachigen Raum wird die Erkenntnisgewinnung meist auf die Durchführung von Experimenten reduziert (Hof & Mayer, 2008; Kremer, 2010). Die empirische Untersuchung des Einflusses der erkenntnisgenerierenden Modellbildung auf das Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis wird anhand anderer Studien in Kapitel 2.5.4 vorgestellt.

2.3 Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung

Viele der in Kapitel 2.1 beschriebenen Eigenschaften mentaler Modelle finden sich in verschiedenen Definitionen zum Begriff der *Vorstellung* wieder. Entsprechend der konstruktivistischen Perspektive in der Naturwissenschaftsdidaktik (Kapitel 2.1.1) sind Vorstellungen subjektive gedankliche Konstrukte, die Individuen situationsspezifisch entwerfen (Duit, 1991; von Aufschnaiter, Fischer & Schwedes, 1992). Lebensweltliche Vorstellungen dienen der Orientierung in der Umwelt und unterscheiden sich von wissenschaftlichen Vorstellungen (Lakoff, 1987). In Lernprozessen, beispielsweise im naturwissenschaftlichen Unterricht, werden die lebensweltlichen mit den wissenschaftlichen Vorstellungen konfrontiert und können sich modifizieren und differenzieren. Voraussetzung dafür ist, dass die neuen Vorstellungen dem Subjekt plausibel, verständlich und fruchtbar erscheinen (*conceptual change* nach Strike & Posner, 1992). Vorstellungen können unterschiedlich komplex sein, wobei Begriffe die geringste Komplexität aufweisen. Sie bezeichnen Dinge, Objekte und Ereignisse und werden sprachlich durch Wörter ausgedrückt. Mehrere thematisch zusammenhängende Begriffe bilden ein Konzept. Dieses beschreibt einen Sachverhalt und wird sprachlich in Form von Sätzen realisiert. Zusammenhängende Konzepte bilden wiederum Denkfiguren, die als erklärende Grundsätze formuliert werden (Gropengießer, 2007).

Zum Zusammenhang zwischen Vorstellungen und mentalen Modellen beschreibt Martschinke (2001) Vorstellungen als den „Output“ von mentalen Modellen, die beim Erinnern entstehen. Vorstellungen sind demnach die internen Medien des Denkens (Aebli, 1981). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Aussagen und Erklärungen von Schülerinnen und Schülern zu Modellen und zur Modellbildung als deren externalisierte Vorstellungen aufgefasst. Mentale Modelle werden als interne Bezugsstruktur zur externen Repräsentation des zugrundeliegenden Aufgabenkontextes gesehen.

2.3.1 Erfassen von Vorstellungen

Vorstellungen können als subjektive mentale Strukturen nur indirekt und interpretativ über ihre externalisierten Zeichen erfasst werden, wie der Sprache: „Sprache ist ein Fenster auf unsere Kognition. Sprache enthüllt die Art und Weise, wie wir denken“ (Gropengießer, 2007, S. 106; vgl. Lakoff & Johnson, 1999).

In den Fachdidaktiken werden vorwiegend qualitative Forschungsmethoden, wie beispielsweise das Interview eingesetzt, um Schülerinnen und Schüler nach ihren Vorstellungen zu befragen (Mayring, 1990). Epistemologische Vorstellungen, wie zu Modellen in der Wissenschaft, sind besonders komplex und können von Schülerinnen und Schülern nur schwer als eine abstrakte Aussage formuliert oder in geschlossenen Aufgabenformaten ausgewählt werden. Zur Erfassung solcher Vorstellungen sollen sich Individuen mit kontextspezifischen Situationen auseinandersetzen (Elby & Hammer, 2001; Sins, Savelsbergh, van Joolingen & van Hout-Wolters, 2009). Die konkrete Durchführung einer Handlung, wie der Modellbildung, unterstützt dabei die Artikulation komplexer Vorstellungen (Hamilton, Nussbaum & Snow, 1997). Das kommt der Forderung entgegen, bei der Erfassung von Modellkompetenz als naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsweise neben den kognitiven Fähigkeiten auch das praktische, manuelle Ausführen der Modellbildung nicht zu vernachlässigen (vgl. Schecker & Parchmann, 2006, S. 46). Dabei ist es möglich, komplexe Vorstellungen zu Modellen und Fähigkeiten zur Modellbildung zu erfassen, wohingegen Aufgaben mit geschlossenen Antwortformaten vornehmlich spezifisches Faktenwissen erfragen (Hamilton et al., 1997).

2.3.2 Strukturelle und graduelle Differenzierung

In Kapitel 2.2.2 wurden Komponenten eines elaborierten Modellverständnisses als Bestandteil des Wissenschaftsverständnisses beschrieben, die es im Unterricht zu fördern gilt (z. B. Lesh & Doerr, 2000; Stewart et al, 2005; Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006). Viele Autorinnen und Autoren sehen den Schlüssel dazu in der Thematisierung der Modellbildung als naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (Penner et al., 1997; Cartier, 2000; Saari & Viiri, 2003; Gobert & Pallant, 2004; Schwarz et al., 2009). Zur Diagnose und anschließender Förderung von Fähigkeiten bei der Erkenntnisgewinnung mit Modellen und dabei angewendeter Vorstellungen über Modelle und die Modellbildung bedarf es einer differenzierten Beschreibung relevanter Aspekte in unterschiedlich elaborierten Ausprägungen (Hartig & Klieme, 2006). Diesbezüglich werden drei theoretische Ansätze aufgeführt, die einen Fokus auf die Erkenntnisgewinnung mit Modellen setzen.

Dimensionen zur Modellbildung (Crawford & Cullin, 2005)

Crawford und Cullin (2005) entwickelten eine *matrix of modelling dimensions* (Tab. 2), um das Wissen von Lehramtsanwärterinnen und -anwärtern zu verschiedenen Modellaspekten zu diagnostizieren und den Erfolg von computerbasierten Modellbildungen auf dieses Wissen zu beurteilen. Ihre theoretische Struktur basiert auf den Arbeiten von Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991) sowie Justi und Gilbert (2003, Kapitel 2.5.1). Es werden die fünf Dimensionen *Zweck*, *Entwicklung*, *Testen* und *Ändern von Modellen* sowie *verschiedene Modelle für ein Phänomen* unterschieden. Für fast jede dieser Dimensionen erfolgt eine Differenzierung in die vier Niveaueausprägungen *limitiert*, *vorwissenschaftlich*, *wissenschaftlich orientiert* und *wissenschaftlich*. Für die *Konstruktion* und das *Testen von Modellen* erfolgt keine Beschreibung zum limitierten ersten Niveau.

Tab. 2: *matrix of modelling dimensions* (Crawford & Cullin, 2005, S. 316; Übersetzung und Kürzung J.O.).

	Niveau I: limitiert	Niveau II: vorwissen- schaftlich	Niveau III: wissenschaftlich orientiert	Niveau IV: wissenschaftlich
Zweck von Modellen	Lehrmittel	visualisierendes Denkwerkzeug zur Erklärung	Ersatzobjekt für gefährliche Tests	Forschungswerkzeug für neue Erkenntnisse
Konstruktion von Modellen	-	Umsetzung der Ideen des Modellierers	Modellierung von Funktionen/Prozessen des Phänomens	Schrittweiser Prozess mit Änderungen aufgrund empirischer Daten und erneutes testen
Ändern von Modellen	kein Ändern	Ändern bei neuen Erkenntnissen	Ändern bei abweichenden Erwartungen des Modellierers zur Funktion des Modells	Ändern bei Abweichungen zwischen Modell und phänomenbasierten Beobachtungen
verschiedene Modelle zu einem Phänomen	verschiedene Lerntypen, Zielgruppen	verschiedene Ideen des Modellierers, verschiedene inhaltliche Aspekte	konkurrierende Ideen oder Theorien zur Erklärung eines Phänomens	verschiedene Hypothesen über das Phänomen
Testen von Modellen	-	Testen durch andere Wissenschaftler als Autoritäten	Vergleich des Verhaltens von Modell und Phänomen	Vergleich von Modellexperimenten mit phänomenbasierten Beobachtungen

Entsprechend dieser Matrix wird beispielsweise die Konstruktion von Modellen auf dem vorwissenschaftlich zweiten Niveau als eine Umsetzung der Ideen des Modellierers beschrieben. Auf dem wissenschaftlich orientierten dritten Niveau werden Funktionen und Prozesse des Phänomens modelliert, während die wissenschaftliche Konstruktion von Modellen ein schrittweiser, empiriebasierter Prozess des Ändern und erneuten Testens von Modellen darstellt. Die Autoren bemerken abschließend, dass diese vier Niveaustufen

in der Praxis schwer nutzbar sind und einer Überarbeitung bedürfen (Crawford & Cullin, 2005, S. 321).

Struktur zum modellbasierten Lernfortschritt (Schwarz et al., 2009)

Zur Diagnose und Förderung von Kenntnissen und Fertigkeiten zur Modellbildung von Schülerinnen und Schülern entwickelten Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009) eine sogenannte *learning progression*. Bereits in Kapitel 2.2.3 (Abb. 6) wurde beschrieben, dass die Autorinnen und Autoren von einer direkten Interaktion zwischen der praktischen Modellbildung und dem Modellverständnis ausgehen. In der theoretischen Struktur beschreiben sie zu den zwei Aspekten des Modellverständnisses (*models change to capture improved understanding* und *models are generative tools*) jeweils vier zunehmend elaborierte Niveaustufen von einer medialen hin zu einer methodischen Nutzung von Modellen. Jedes Niveau umfasst sowohl Wissen über Modelle und die Modellbildung als auch eine Beschreibung der praktischen Modellbildung.

Tab. 3: *learning progression* nach Schwarz et al. (2009, S. 9, 16; Kürzung und Übersetzung durch J.O.).

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Wissenschaftliche Modelle zum Vorhersagen und Erklären	Konstruktion und mediale Nutzung von Modellen zur Darstellung des Aussehens eines Phänomens	Konstruktion und Nutzung von Modellen zur Darstellung und Erklärung des eigenen Verständnisses über das Phänomen	Konstruktion, Nutzung und Bewertung verschiedener Modelle als Denkwerkzeuge zur Erklärung und Vorhersage mehrerer Phänomenaspekte	Konstruktion und Nutzung verschiedener Modelle als Denkwerkzeuge zur Entwicklung und Beurteilung neuer Hypothesen über das Phänomen
Veränderung von Modellen bei verbessertem Verständnis	Einschätzung unveränderlicher Modelle hinsichtlich ihrer Richtigkeit und Kopiequalität mit dem Phänomen	Ändern von Details oder der Verständlichkeit eines Modells aufgrund neuer Informationen von Autoritäten (Lehrkräften, Schulbuch)	Ändern von Modellen aufgrund neuer Erkenntnisse zu Erklärungszwecken, Vergleich verschiedener Modelle zur Erklärbarkeit neuer Erkenntnisse	Erwägung von Änderungsmöglichkeiten vor neuen Untersuchungen zu Erklärungszwecken und zur Überprüfung von Hypothesen, Bewerten alternativer Modelle für eine optimale Erklärungs- und Vorhersagekraft

Diese *learning progression* beruht auf Arbeiten zum Wissenschaftsverständnis (Carey & Smith, 1993) und zum Verständnis von Schülerinnen und Schülern zur Modellbildung (Grosslight et al., 1991; Spitulnik, Krajcik & Soloway, 1999; Snir, Smith & Raz, 2003; Stewart et al., 2005). Problematisch ist, dass in jeder Niveaustufe mehrere Perspektiven auf Modelle und die Modellbildung beschrieben werden (z. B. Niveau 2: Ändern und Vergleichen von Modellen). Die Autoren selbst fordern daher, dass verschiedene Aspekte zu Modellen und zur Modellbildung für eine differenzierte Beschreibung von Schülervorstellungen separiert betrachtet werden müssen (Schwarz, Reiser, Acher, Kenyon & Fortus, 2012, S. 121).

Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010)

Die bisher beschriebenen theoretischen Strukturen zur Dimensionierung und Graduierung von Kenntnissen und Fertigkeiten zu verschiedenen Modellaspekten weisen in Bezug auf die praktische Anwendung Einschränkungen auf. Crawford und Cullin (2005) berichten von Schwierigkeiten hinsichtlich der Abgrenzung der vier Niveaus und Schwarz und Team (2009) in Bezug auf die Dimensionierung. Für die vorliegende Untersuchung wird das Kompetenzmodell der Modellkompetenz⁷ (Tab. 4) von Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) herangezogen, da es die Erkenntnisgewinnung mit Modellen fokussiert und dabei inhaltlich die Schritte der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002; Kapitel 2.1.4) sowie dabei angewendete Kenntnisse strukturiert und differenziert. Die Fähigkeiten bei der Erkenntnisgewinnung mit Modellen werden in den Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* beschrieben und dabei angewendete Vorstellungen in den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle*. Ein weiterer Vorteil des Kompetenzmodells liegt darin, dass es bereits empirisch überprüft wurde.⁸ Die theoretische Grundlage für die Strukturierung in fünf Teilkompetenzen sind internationale empirische Studien zum Modellverständnis von Schülerinnen und Schüler nach Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991) sowie von Lehrkräften nach Justi und Gilbert (2002) sowie Crawford und Cullin (2005). Jede Teilkompetenz wird in drei Niveaus graduert, die unterschiedliche Qualitäten des Reflektierens über Modelle und die Modellbildung beschreiben. Vom ersten zum dritten Niveau wird ausgehend von einer medialen Perspektive über Modelle zum Zweck der Veranschaulichung zunehmend eine methodische Perspektive über Modelle als Mittel zur Erkenntnisgewinnung beschrieben (Tab. 4). Diese Graduierung basiert vornehmlich auf der Studie von Grosslight et al. (1991) und Mahrs (2008) Unterscheidung zwischen einer Perspektive auf das Modellobjekt sowie der Herstellungs- und Anwendungsperspektive (Kapitel 2.1.2, 2.1.3). Inwiefern sich diese Niveaus schrittweise über steigende Jahrgangsstufen hinweg

⁷ Kompetenzen sind individuelle Fähigkeiten von Personen, bestimmte Anforderungen in spezifischen Situationen zu bewältigen. Kompetenzmodelle fassen diese Fähigkeiten strukturell (Kompetenzstrukturmodelle), in ihren unterschiedlichen Ausprägungen (Kompetenzniveaumodelle) und/oder ihren Entwicklungen (Kompetenzentwicklungsmodelle) zusammen (Hartig & Klieme, 2006; Klieme, Maag-Merki, & Hartig, 2007).

⁸ Die fünf Teilkompetenzen wurden ursprünglich in die zwei Dimensionen *Modellkenntnisse* und *Modellbildung* gruppiert. Empirische Überprüfungen der Struktur des Kompetenzmodells der Modellkompetenz mit Multiple-Choice Aufgaben (Terzer, 2013) und mit Forced-Choice Aufgaben (Krell, 2013) konnten jedoch diese zweidimensionale Struktur verwerfen. Weitere empirische Untersuchungen müssen überprüfen, ob starke Zusammenhänge zwischen allen fünf Teilkompetenzen bestehen und ein eindimensionales Kompetenzmodell vorliegt (vgl. Terzer, 2013) oder ob von einem fünfdimensionalen Kompetenzmodell ausgegangen werden kann, da keine Zusammenhänge zwischen den Teilkompetenzen bestehen (vgl. Krell, 2013).

entwickeln, wird aktuell empirisch in einer längsschnittlichen Untersuchung überprüft (Patzke, Krüger & Upmeier zu Belzen, 2013).

Tab. 4: Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010; Kürzung durch J.O.).

	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Eigenschaften von Modellen	Modelle sind Kopien	Modelle sind idealisierte Repräsentationen	Modelle sind theoretische Rekonstruktionen
Alternative Modelle	Unterschiede zwischen den Modellobjekten	Ausgangsobjekt ermöglicht Herstellung verschiedener Modelle	Modelle für verschiedene Hypothesen
Zweck von Modellen	Modellobjekt zur Beschreibung einsetzen	Bekannte Zusammenhänge im Original erklären	Zukünftige neue Erkenntnisse über das Original voraussagen
Testen von Modellen	Modellobjekt überprüfen	Parallelisieren mit dem Original	Überprüfen von Hypothesen über das Original bei der Anwendung
Ändern von Modellen	Mängel am Modellobjekt beheben	Modell durch zusätzliche Perspektiven revidieren	Modell aufgrund falsifizierter Hypothesen über das Original revidieren

Im Folgenden werden die Niveaus zu den Fähigkeiten zur Modellbildung und den dabei angewendeten Kenntnissen mit konkreten Beispielen aus dem schul- und wissenschaftlichen Kontext zur Thematik der Hauptuntersuchung ´Struktur und Funktion des Herzens` erläutert.

Jeder Modellbildungsprozess beginnt mit der Bestimmung eines Zwecks (Justi & Gilbert, 2002; Kapitel 2.1.4). Dreidimensionale Schulmodelle des Herzens werden konstruiert, um Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Herzstrukturen zu veranschaulichen. Das erste Niveau der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* im Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Tab. 4) lautet entsprechend „Modellobjekt zur Beschreibung von etwas einsetzen“. Schülerinnen und Schüler können aber auch mit einfachen Materialien, z. B. Schlauch, Flüssigkeit und Wolle, ein Funktionsmodell selbst konstruieren, um den Zusammenhang zwischen Ablagerungen und Blutfluss bei der Arteriosklerose zu erklären. Resultierende Vorstellungen über den Zweck von Modellen zur Erklärung von Zusammenhängen lassen sich dem zweiten Niveau des Kompetenzmodells zuordnen (Tab. 4). Das dritte Niveau beschreibt die Anwendungsperspektive, wonach Modelle für Voraussagen über das Original genutzt werden. Ein Beispiel ist die Nutzung von Computermodeilen zur Untersuchung der Wirkungsweise von Medikamenten gegen die Arteriosklerose.

Die Modellbeispiele zum *Zweck von Modellen* verdeutlichen, dass es verschiedene Modelle zu einem Original gibt. Unterschiedliche Begründungen hierzu lassen sich der Teilkompetenz *Alternative Modelle* des Kompetenzmodells zuordnen (Tab. 4).

Auf Niveau I werden Unterschiede zwischen verschiedenen Modellobjekten zu einem Original beschrieben. Beispielsweise unterscheiden sich Modelle zum Herzen im schulischen Kontext hinsichtlich ihrer Größe, Farbe oder materiellen Beschaffenheit. Elaborierter ist die Sichtweise von Niveau II, wonach verschiedene Modelle unterschiedliche Aspekte eines Originals abbilden. So zeigen einfachste Schulmodelle des Herzens nur die äußeren Strukturen, während andere zerlegbar sind und zusätzlich innere Strukturen abbilden. Auf Niveau III werden alternative Modelle mit dem Vorhandensein verschiedener Hypothesen über das Original begründet. Beispielsweise entwickeln verschiedene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entsprechend ihrer Hypothesen voneinander abweichende Computermodelle zur Wirkungsweise eines Medikaments gegen die Arteriosklerose.

Alternative Modelle haben gemeinsam, dass sie entsprechend des Modells der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) geprüft werden können. Entsprechend des ersten Niveaus der Teilkompetenz *Testen von Modellen* wird die Struktur oder Funktion des Modellobjekts überprüft, Schulmodelle beispielsweise hinsichtlich ihrer Stabilität. Auf dem zweiten Niveau wird das Modell mit den bereits bestehenden Kenntnissen über das Original auf Übereinstimmung verglichen. Schülerinnen und Schüler, die eine persönliche Modellzeichnung über die Funktionsweise des Herzens anfertigen, parallelisieren währenddessen unentwegt mit ihrem eigenen Vorwissen beziehungsweise den zur Verfügung stehenden Informationen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hingegen testen auf dem dritten Niveau ihre Hypothesen über das Original mithilfe des Modells, beispielsweise zur Wirkungsweise von medikamentenbeschichteten Stents nach einem Herzinfarkt am Computermodell.

Als Konsequenz des negativen Testens werden Modelle geändert. Das instabile Schulmodell wird stabilisiert (Niveau I: Mängel am Modellobjekt beheben; Tab. 4), die Schülerzeichnung wird bei neuen Informationen über das Herz präzisiert (Niveau II: Ändern durch neue Erkenntnisse) und das wissenschaftliche Computermodell wird mit verbesserten medikamentenbeschichteten Stents optimiert (Niveau III: Modell aufgrund falsifizierter Hypothesen revidieren).

Letztlich können Modelle hinsichtlich ihrer Eigenschaften evaluiert werden (Justi & Gilbert, 2002). In der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* werden unterschiedliche Perspektiven zur Beziehung zwischen Modell und Original beschrieben. Ein dreidimensionales Schulmodell eines Herzens kann die Vorstellung wecken, Modelle wären fast übereinstimmende Kopien eines echten Herzens (Niveau I: Modelle als Kopien; Tab. 4). Gleichzeitig veranschaulichen diese Schulmodelle vorwiegend die Herzstrukturen und vernachlässigen dabei die Funktionen, wie die Herzklappentätigkeit oder Pumpbewegungen. Entsprechend des zweiten Niveaus sind Modelle idealisierte

Repräsentationen. Am elaboriertesten ist die Sichtweise über Modelle als theoretische Rekonstruktionen auf Niveau III. Ein Beispiel sind Computermodele, die die Wirkung von Medikamenten auf das menschliche Herz für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler rekonstruieren.

2.3.3 Modellkompetenz

Das Kompetenzmodell der Modellkompetenz umfasst in allen Teilkompetenzen kognitive Facetten und in den Teilkompetenzen Zweck, Testen und Ändern von Modellen zusätzlich konkrete handlungsbezogene Facetten (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Das Konstrukt *Modellkompetenz* ist demnach analog zur Definition des allgemeinen Kompetenzbegriffs funktional geprägt als eine „Verbindung von Wissen und Können in der Bewältigung von Handlungsanforderungen“ (Klieme & Hartig, 2007, S. 19). Entsprechend dieser Definition zeichnet sich Modellkompetenz durch die Merkmale der Kontextspezifität sowie Erlern- und Vermittelbarkeit aus (Hartig & Klieme, 2006). In Anlehnung an Weinert (2001) definieren Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010, S. 49) Modellkompetenz als eine Handlungskompetenz mit motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten zur Problemlösung:

„Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.“

Die kognitive Basis für einen kompetenten Umgang mit Modellen differenziert Leisner (2005) in deklaratives und prozedurales Wissen. Diese beiden Wissensformen lassen sich in der Theorie relativ gut voneinander abgrenzen, in der Praxis bedingen sie sich jedoch gegenseitig (Moormann, 2009). Das deklarative Wissen wird als Faktenwissen im Langzeitgedächtnis in Form von abstrakten Propositionen, mentalen Bildern oder zeitlichen Abfolgen gespeichert (Anderson, 1983).⁹ Das prozedurale Wissen hingegen wird als eine Art „Handlungswissen“ des Langzeitgedächtnisses verstanden, da es eine Reihe von Regeln umfasst, „deren sequentielle Anwendung die zielgerichtete Lösung von

⁹ In der Literatur wird das deklarative Wissen oft synonym mit dem *konzeptuellen Wissen* verwendet (Steiner, 2001). Autoren, die das deklarative Wissen als schlichtes Faktenwissen aus isolierten Informationseinheiten verstehen, sehen das konzeptuelle Wissen als eine Erweiterung zu diesem (Moormann, 2009). In diesem Fall legt das konzeptuelle Wissen als Begriffswissen den Schwerpunkt auf die Relation zwischen den isolierten Einheiten des deklarativen Wissens (Rittle-Johnson et al., 2001).

Problemen ermöglicht“ (Schneider, 2006, S. 53). Während das deklarative Wissen dem Träger meist in abstrakter Form bewusst zugänglich und somit generalisierbar ist, gilt das prozedurale Wissen als kontextspezifisch und somit nicht generalisierbar sowie stärker implizit vorliegend (Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001).

Im Modellkontext umfasst das deklarative Wissen nach Leisner (2005) erstens das Modellverständnis über Unterschiede zwischen Erfahrungs- und Modellwelt sowie zwischen Alltagsmodellen und wissenschaftlichen Modellen und zweitens konkrete Inhalte physikalischer Modelle. Das prozedurale Wissen stellt die Anwendung des Modellverständnisses als bewusstes Unterscheiden und Reflektieren von Erfahrungs- und Modellwelt sowie Alltagsmodellen und wissenschaftlichen Modellen dar. Außerdem umfasst das prozedurale Wissen die Anwendung der Modellinhalte beim Problemlösen. Die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* des Kompetenzmodells der Modellkompetenz lassen sich vornehmlich dem deklarativen Wissen zuordnen und das prozedurale Wissen umfasst die Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010, S. 50).

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist die kognitive Facette von Modellkompetenz in Form von Vorstellungen, die in konkreten Handlungssituationen erfasst werden.

2.4 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit lässt sich wissenschaftstheoretisch dem *model-based view of scientific theory and scientific inquiry* zuordnen, wonach die Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung in den Naturwissenschaften mit Modellen verbunden sind (van Fraassen, 1980; Giere, 1988; Oh & Oh, 2011). Entgegen des Versuchs einer allgemeingültigen Modelldefinition folgt die vorliegende Arbeit Mahrs (2008) Modellbegriff des *Modellseins*. Demnach ist ein Modell all das, was ein Subjekt zu einem Modell erklärt beziehungsweise unter bestimmten Bedingungen als Modell auffasst. Das Modellsein zeichnet sich durch eine Kombination sowohl der Herstellung von Modellen als Abbilder eines Phänomens als auch der Anwendung von Modellen zur Gewinnung neuer Erkenntnisse aus (Mahr, 2009). Familien von Modellen, die wissenschaftliche Erkenntnisse zu einem bestimmten Aspekt repräsentieren, können eine *Theorie* bilden (Nersessian, 1999).

Dem *konstruktiven Empirismus* (van Fraassen, 1980) folgend, liegen Modellen keine realen Originale einer objektiv existierenden Wirklichkeit zugrunde. In der vorliegenden Arbeit werden als *Original* die im Arbeitsgedächtnis intern repräsentierten und zum Modell korrespondierenden Aspekte der Umwelt als Original bezeichnet. Zur Verarbeitung dieser perzeptuellen Informationen konstruiert ein Individuum ein *mentales Modell* als

interne semantische Repräsentation (vgl. Anderson, 1983). Dazu erfolgt eine Analogiebildung, wobei ein bereits bekannter Sachverhalt auf den neu zu verarbeitenden Sachverhalt übertragen wird.

Das mentale Modell kann zu Kommunikationszwecken externalisiert werden (Justi & Gilbert, 2002). Der konkret als Modell aufgefasste Gegenstand wird als *Modellobjekt* bezeichnet, um ihn von der zugrundeliegenden Modellidee abzugrenzen (Mahr, 2008).

Der Prozess der Modellbildung wird im *model of modeling* von Justi und Gilbert (2002) ausgeführt. Es stellt die grundlegenden Schritte flexibel und gleichzeitig zusammenhängend dar, wodurch es als hilfreich für die Konzipierung von Lerngelegenheiten zur Modellbildung gesehen wird (Justi & Gilbert, 2003; Maia & Justi, 2009; Mendonca & Justi, 2011). Zur Beurteilung der Qualität von Lerngelegenheiten zur Modellbildung bedarf es einer differenzierten Beschreibung relevanter Fähigkeiten und dabei angewendeter Vorstellungen in unterschiedlich elaborierten Ausprägungen (Hartig & Klieme, 2006). Das Kompetenzmodell der Modellkompetenz von Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) fokussiert auf die Erkenntnisgewinnung mit Modellen, wobei die Schritte der Modellbildung sowie dabei angewandte Kenntnisse in fünf inhaltlichen Teilkompetenzen und drei qualitativ unterschiedlichen Niveaus strukturiert und differenziert werden. Das Konstrukt *Modellkompetenz* ist demnach funktional geprägt als eine Verbindung von kognitiven und manuellen Facetten.

Hinsichtlich der kognitiven Facette können *Vorstellungen* als subjektive gedankliche Konstrukte und interne Medien des Denkens untersucht werden (Aebli, 1981; Duit, 1991; von Aufschnaiter et al., 1992). In der vorliegenden Untersuchung werden die Aussagen und Erklärungen von Schülerinnen und Schülern zu Modellen und zur Modellbildung als deren externalisierte Vorstellungen aufgefasst und mentale Modelle als die interne Bezugsstruktur zur externen Repräsentation des zugrundeliegenden Aufgabenkontextes. Methodisch muss bedacht werden, dass sowohl mentale Modelle als auch Vorstellungen dynamische, kognitive Strukturen sind und nur indirekt über ihre externalisierte Form untersucht werden können (Harrison & Treagust, 2000; Al-Diban, 2002, S. 109). Die praktische Durchführung der Modellbildung zu einem Kontext ermöglicht, komplexe epistemologische Vorstellungen prozessbezogen zu erfassen (Hamilton et al., 1997; Elby & Hammer, 2001; Sins et al., 2009). Das kommt der Forderung entgegen, bei der Erfassung von Modellkompetenz als naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsweise neben den kognitiven Fähigkeiten auch das praktische, manuelle Ausführen der Modellbildung nicht zu vernachlässigen (vgl. Schecker & Parchmann, 2006, S. 46).

2.5 Stand der Forschung

2.5.1 Studien zur Erfassung von Modellverständnis

Einen empirischen Grundstein für die Erfassung von Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung legten Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991). Sie interviewten Schülerinnen und Schüler der siebten und elften Jahrgangsstufen sowie verschiedene Expertinnen und Experten, die mit Modellen arbeiteten. Zu Beginn des Interviews mussten sich die Probandinnen und Probanden zu verschiedenen Gegenständen in Bezug auf ihr Modellsein äußern. Es folgten Fragen zu unterschiedlichen allgemeinen Modellvorstellungen und spezifischer Fragen zur Verwendung von Modellen in der Wissenschaft. Mithilfe der Antworten zu den verschiedenen Aspekten von Modellen entwickelten Grosslight und Team (1991) induktiv ein Kodierschema zur inhaltlichen Kategorisierung der Aussagen (*Modellbeispiele und deren Eigenschaften, Zweck, Entwicklung und Ändern von Modellen, Alternative Modelle*). Zudem graduierten sie die Interviewaussagen in drei globale, unterschiedlich komplexe Niveaus, die verschiedene epistemologische Sichtweisen auf Modelle und deren Nutzen in der Wissenschaft reflektieren. Diese drei Niveaus basieren auf den drei Niveaus zum epistemologischen Verständnis aus der Interviewstudie von Carey und Team (1989). Dabei wurden Schülerinnen und Schüler befragt, wie Wissen mithilfe von Experimenten generiert werden kann.¹⁰ Die Studie von Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991) wird im Forschungsfeld zum Modellverständnis nicht nur oft zitiert, sondern auch methodisch genutzt. Beispielsweise verwendeten Justi und Gilbert (2003) sowie Crawford und Cullin (2005) den halbstrukturierten Interviewleitfaden zum Erfassen der Vorstellungen über Modelle von Lehrkräften und Lehramtsstudierenden, Justi und Gilbert (2003) zusätzlich von Experten sowie Trier et al. (2014) von Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe. Harrison und Treagust (2001) nutzten das Codiersystem von Grosslight und Team (1991) zur Kategorisierung der Interviewaussagen von Schülerinnen und Schülern der achten bis elften Jahrgangsstufe. Grünkorn (2014) nutzte die Interviewfragen von Grosslight et al. (1991) zur Konstruktion von Aufgaben mit offenem Antwortformat zu den Aspekten von Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010; Kapitel 2.3.2): *Eigenschaften von Modellen, Alternative Modelle* sowie *Zweck, Testen und Ändern von Modellen*. Jede Aufgabe besteht aus einem

¹⁰ Das erste Niveau des Wissenschaftsverständnisses nach Carey et al. (1989) entspricht einem naiven Wissenschaftsverständnis, wonach die Erkenntnisgewinnung die Beobachtung und Beschreibung von Fakten der direkten Realität darstellt. Die Wissenschaft als Suche nach experimentell überprüfbaren Zusammenhängen der direkten Realität wird auf dem zweiten Niveau nachvollzogen. Niveau III bildet ein konstruktivistisches Verständnis von Wissenschaft ab, wonach vorläufiges Wissen in einem zyklischen Prozess auf hypothetisch-deduktive Weise konstruiert wird.

Aufgabenstamm, der grundlegende Informationen zu einem Kontext sowie ein oder mehrere Modelle präsentiert (Abb. 9). Es folgt ein standardisierter Fragenimpuls.

Scientists found a skull of a Neanderthal man in Düsseldorf. From this skull and from comparison with modern humans a model of this Neanderthal man was designed:

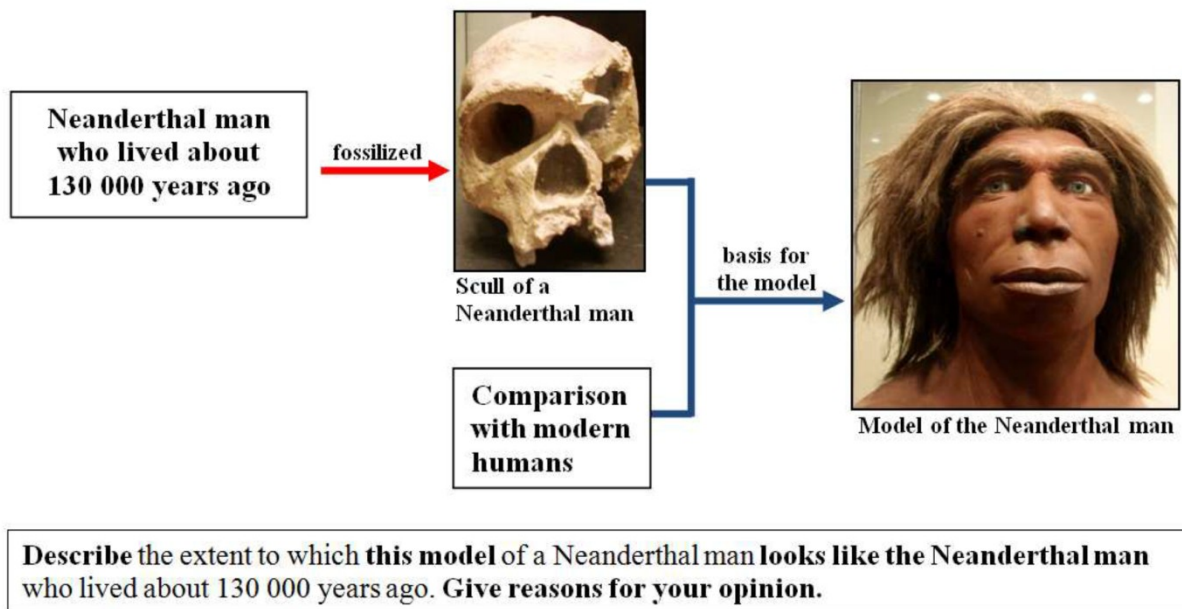


Abb. 9: Beispiel einer offenen Aufgabe aus Grünkorn et al. (2011).

Diese offenen Aufgaben wurden von 1177 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen sieben bis zehn bearbeitet. Die Auswertung der Schülerantworten erfolgte mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Mayring, 2005), bei der jeweils ähnliche transkribierte und redigierte Schüleraussagen zu einem Aspekt in verschiedenen Kategorien zusammengefasst werden. Das resultierende Kategoriensystem gibt Aufschluss, inwiefern sich das Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) empirisch bestätigen lässt und um welche zusätzlichen Perspektiven es erweitert werden muss. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Kategoriensystem von Grünkorn (2014) genutzt, um unterschiedliche inhaltliche und elaborierte Schüleraussagen zu Modellen und zur Modellbildung einzuordnen (Kapitel 3.3.4).

Neben den genannten qualitativen Studien wurden Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung auch auf quantitative Weise erfasst. Treagust und Kollegen nutzten mehrere quantitative Instrumente zur Erfassung von Schülervorstellungen (z. B. Treagust et al., 2002; 2004), die teilweise mit qualitativen Methoden ergänzt wurden (z. B. Chittleborough & Treagust, 2007). Die Autoren verwendeten beispielsweise eine fünfstufige Likert-Skala, auf der Schülerinnen und Schüler einschätzten, wie zutreffend

bestimmte Aussagen zu Modellen und zur Modellbildung sind (Treagust et al., 2002). Die *American Association for the Advancement of Science* (AAAS, 1993) hat im Rahmen des *Projekts 2061* Multiple-Choice-Aufgaben für die Jahrgangsstufen sechs bis zwölf entwickelt. Die zu wählenden Antwortmöglichkeiten bestehen aus unterschiedlich komplexen wissenschaftlichen Vorstellungen über Modelle. Zur empirischen Überprüfung des Kompetenzmodells der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010; Kapitel 2.1.4) entwickelte Terzer (2013) Multiple-Choice-Aufgaben. Diese wurden von 1136 Gymnasialschülerinnen und -schülern der Jahrgangsstufen 7 bis 10 gelöst. Meisert (2008) untersuchte mit geschlossenen dichotomen Ja/Nein-Fragen und anschließender Begründung, inwiefern Neuntklässler verschiedene Gegenstände als Modelle einstufen. Ein weiterer verwendeter Aufgabentyp sind Forced-Choice-Aufgaben, bei denen sich Schülerinnen und Schüler zwischen zwei verschiedenen Aussagen über Modelle entscheiden müssen (z. B. Krell, 2013).

Bereits die exemplarisch genannten Studien zu Vorstellungen über Modelle und die Modellbildung verdeutlichen, dass dieses Forschungsfeld vielfältig bearbeitet wird, sowohl die Auswahl der Erhebungsinstrumente als auch die Probandengruppen betreffend. Einige dieser Studien haben gemeinsam, dass sie die Vorstellungen über Modelle und die Modellbildung ohne einen spezifischen Kontext erfassten (z. B. Grosslight et al., 1991; Van Driel & Verloop, 1999). Sins und Team (2009, S. 1208) äußern diesbezüglich Kritik, da epistemologische Vorstellungen kontextabhängig sind (z. B. Elby & Hammer, 2001) und nicht als abstrakte Aussage formuliert oder als solche nicht in einem Fragebogen ausgewählt werden können (Kapitel 2.3.1).

2.5.2 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung

Mithilfe ausgewählter Studien aus dem vorhergehenden Kapitel werden unterschiedlich elaborierte Schülervorstellungen zu den verschiedenen Aspekten des Modells der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002, Kapitel 2.1.4) sowie dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010, Kapitel 2.3.2) vorgestellt. Elaborierte Perspektiven auf Modelle und die Modellbildung wurden theoretisch bereits bei der Klärung des Modellverständnisses in Kapitel 2.2.2 beschrieben. Ihre Existenz bei Schülerinnen und Schülern wird an dieser Stelle empirisch dargelegt.

Zum *Zweck von Modellen* äußern Schülerinnen und Schüler mehrere Einsatzmöglichkeiten (Krell et al., 2012). Obwohl sie dabei zwischen dem Einsatz von Modellen in der Schule und in der Wissenschaft unterscheiden (Trier et al., 2013), werden mehrheitlich Vorstellungen zum pädagogischen Einsatz von Modellen als Medien geäußert (Ingham & Gilbert, 1991): Modelle dienen dazu, ein Phänomen zu visualisieren, zu kommunizieren und zugänglich zu machen, um Verständnis darüber zu erzeugen (z. B.

Grosslight et al., 1991; Treagust et al., 2002; Justi & Gilbert, 2003). Die wissenschaftliche Nutzung von Modellen zur Formulierung und Überprüfung von Hypothesen über ein Phänomen wird im Vergleich zum pädagogischen Einsatz von Modellen seltener von den Schülerinnen und Schülern erkannt (Grosslight et al., 1991; Schwarz & White, 2005). Im Vergleich zu den anderen vorgestellten Aspekten zu Modellen und zur Modellbildung wird die wissenschaftliche Perspektive beim *Zweck von Modellen* am häufigsten geäußert (Grünkorn, Upmeier zu Belzen & Krüger, 2014, Tab. 5).

Die prominente pädagogische Perspektive zu Modellen spielt auch in den Schülerantworten zum *Testen von Modellen* eine bedeutende Rolle. Fast alle Schülerinnen und Schüler fordern als Testkriterium, dass Modelle verständlich sein müssen (Schwarz & White, 2005). Daher muss ein Modell aus Schülersicht auch möglichst akkurat zum zugrundeliegenden Phänomen passen, was durch einen Vergleich zwischen beiden getestet werden kann (Grosslight et al., 1991; Treagust et al., 2002; Trier & Upmeier zu Belzen, 2009, Grünkorn et al., 2014). Weniger elaboriert, aber in den Schüleraussagen auch bedeutend, ist die Vorstellung über eine Überprüfung des Modellobjekts hinsichtlich seiner Stabilität, seinem Gewicht oder anderer Kriterien (Grünkorn et al., 2014, Tab. 5). Die elaborierte Vorstellung, dass mithilfe von Modellen Hypothesen über ein Phänomen getestet werden, äußern Schülerinnen und Schüler hingegen selten (Grosslight et al., 1991). Den Prozess des Testens selbst beschreiben Schülerinnen und Schüler als ungerichtetes Ausprobieren zum Verhalten des Modells in verschiedenen Situationen (Grosslight et al., 1991). Dabei wird kaum thematisiert, welche Instanz über die Gültigkeit von Modellen entscheidet (Justi & Gilbert, 2003).

Als Folge des Testens beschreiben die meisten Schülerinnen und Schüler mehrere Gründe zum *Ändern von Modellen*. Am häufigsten beziehen sie sich dabei auf das zugrundeliegende Phänomen und beschreiben das Ändern von Modellen beispielsweise aufgrund einer mangelnden Passung zwischen Modell und Phänomen (Grünkorn et al., 2014, Tab. 5) oder neuen Informationen über das Phänomen. Weniger elaborierte Begründungen zum Ändern beziehen sich nur auf das Modellobjekt und gehen dabei auf Fehler, Mängel oder Optimierungswünsche ein (Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003; Trier & Upmeier zu Belzen, 2009; Grünkorn et al., 2014). Nur wenige Schülerinnen und Schüler beschreiben, dass Modelle wegen falsifizierter Hypothesen geändert werden müssen, um eine bessere Erklärbarkeit des Phänomens zu gewährleisten (ebd.).

Hinsichtlich der *Eigenschaften von Modellen* kommen unterschiedliche empirische Studien zu heterogenen Ergebnissen. Einige beschreiben, dass sich die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler Modelle als Kopien vorstellt, also mit einer sehr großen Ähnlichkeit zum Phänomen (Grosslight et al., 1991, Schwarz & White, 2005; Grünkorn et al., 2014). Andere Studien berichten ein elaborierteres Verständnis über Modelle als

maßstabsgetreue, ähnliche Repräsentationen des zugrundeliegenden Phänomens (Treagust et al., 2001, 2002). Beide Schülervorstellungen verkennen den subjektiven, konstruktivistischen Charakter von Modellen.

Alternative Modelle zu einem Phänomen begründen Schülerinnen und Schüler in vielen Studien mehrheitlich mit dem Nutzen, verschiedene inhaltliche Aspekte eines Phänomens abbilden zu können. Oft wird dabei der Vorteil benannt, mit alternativen Modellen ein größeres Verständnis über das zugrundeliegende Phänomen zu fördern (Grosslight et al., 1991; Trier & Upmeyer zu Belzen, 2009). In der Studie von Grünkorn et al. (2014) ist eine weitere, weniger elaborierte Vorstellung über alternative Modelle ohne Berücksichtigung des zugrundeliegenden Phänomens bedeutend (Tab. 5). Dabei werden lediglich verschiedene Modellobjekte hinsichtlich ihrer Merkmale miteinander verglichen, wie dem Aussehen, der Dimensionalität oder der Verständlichkeit. Die Begründung alternativer Modelle mit verschiedenen Hypothesen über das Phänomen wird von den Probandinnen und Probanden der genannten Studien kaum in Erwägung gezogen.

Es wird deutlich, dass sich die Schülerinnen und Schüler in ihren Argumentationen zu den verschiedenen Aspekten zu Modellen und der Modellbildung überwiegend auf das Modellobjekt oder das zugrundeliegende Phänomen beziehen und weniger eine wissenschaftliche Perspektive über Modelle als gedankliche Entitäten einnehmen. Das dritte Niveau des Kompetenzmodells der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010, Tab. 4) stellt nach diesen Befunden die höchsten Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler. Terzer (2013, Kapitel 2.5.1) konnte empirisch einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Niveaus aufzeigen. Die Probandinnen und Probanden erreichten Modellkompetenz von der siebten bis zur zehnten Jahrgangsstufe zunehmend von einer medialen zu einer methodischen Perspektive. Dennoch überwiegte in Terzers Studie (2013) auch in den höheren Jahrgangsstufen die mediale Perspektive. Verschiedenste Untersuchungen zeigen, dass dabei besonders häufig didaktisch orientierte Sichtweisen eingenommen werden, wonach Modelle zur Kommunikation und Zugänglichmachung von Phänomenen dienen (Grosslight et al., 1991; Ingham & Gilbert, 1991; Schwarz et al., 2009). Grünkorn (2014, Kapitel 2.5.1) konnte zeigen, dass sich die beiden Kategorien *Modelle als Mittel zur Verständlichkeit/Kommunizierbarkeit* und *Modelle als Mittel zur Zugänglichkeit* über alle fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz erstrecken (Tab. 4).

Bezüglich der Graduierung von Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) schlagen Grünkorn et al. (2014) ein viertes *initiales Niveau* für die Teilkompetenzen *Alternative Modelle*, *Testen* und *Ändern von Modellen* vor (Tab. 5). In der Teilkompetenz *Alternative Modelle* lehnen einige Schülerinnen und Schüler die Existenz alternativer Modelle zu einem Original ab und begründen das beispielsweise mit

verschiedenen zugrundeliegenden Originalen, der Gleichheit der alternativen Modelle oder der Tatsache, dass nur ein Modell richtig sein kann. In dieses initiale Niveau lassen sich ungefähr 18% der gegebenen Aussagen innerhalb dieser Teilkompetenz einordnen (Grünkorn et al., 2014, Tab. 5). In den Teilkompetenzen *Testen* und *Ändern von Modellen* lehnen die Schülerinnen und Schüler auf dem initialen Niveau die Möglichkeit ab, Modelle testen (1% der Aussagen in dieser Teilkompetenz) oder ändern zu können (3% der Aussagen in dieser Teilkompetenz). Die meisten Kategorien des initialen Niveaus der Teilkompetenzen *Alternative Modelle* und *Ändern von Modellen* wurden bereits durch andere Studien empirisch beschrieben (z. B. Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003; Crawford & Cullin, 2005).

Tab. 5: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen (N=3531) auf die Niveaus der Teilkompetenzen von Modellkompetenz aus Grünkorn et al. (2014). Die Zeilensummen ergeben nicht 100%, da nicht alle Antworten den Niveaus des Kompetenzmodells zugeordnet werden konnten ($N_{\text{Lernende}}=1177$).

	Initiales Niveau	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Eigenschaften von Modellen ($n_{\text{Lernende}} = 692$)	-	69%	17%	4%
Alternative Modelle ($n_{\text{Lernende}} = 705$)	18%	44%	31%	8%
Zweck von Modellen ($n_{\text{Lernende}} = 706$)	-	52%	50%	24%
Testen von Modellen ($n_{\text{Lernende}} = 711$)	1%	30%	68%	8%
Ändern von Modellen ($n_{\text{Lernende}} = 712$)	3%	31%	68%	1%

2.5.3 Gründe für die Qualität der Schülervorstellungen

Der Fokus auf die mediale Perspektive zu Modellen durch Schülerinnen und Schüler lässt sich zum einen auf die Vorstellungen von Lehrkräften zu Modellen und zur Modellbildung und deren Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung zurückführen. Zum anderen spielen kognitive Voraussetzungen von Schülerinnen und Schüler eine bedeutende Rolle. Im Unterricht werden Modelle überwiegend als pädagogische Hilfsmittel zur Vermittlung von Fachwissen genutzt, wobei die Modellinhalte häufig als unveränderliche Fakten präsentiert werden. Dabei ist es unüblich, dass vor allem Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I Modelle selbst konstruieren, testen und ändern, um eigene Vermutungen zu untersuchen (z. B. Stephens et al., 1999; Van Driel & Verloop, 1999; Crawford & Cullin, 2005; Henze et al., 2007). Einige Untersuchungen berichten über die Durchführung der praktischen Modellbildung in der Sekundarstufe II, jedoch vorwiegend zum Zweck der Visualisierung oder Kommunikation des eigenen Verständnisses über

einen Fachinhalt (Windschitl et al., 2008). Die bedeutende Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess bleibt also im Unterricht meist unreflektiert (Stephens et al., 1999; Van Driel & Verloop, 1999; Crawford & Cullin, 2005; Henze et al., 2007). Eine Ursache hierfür sind fehlende Unterrichtsmaterialien zur Thematisierung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002). Desweiteren verfügen Lehrkräfte über ähnliche Modellvorstellungen wie ihre Schülerinnen und Schüler, beschrieben im vorhergehenden Kapitel. Trotz einer großen individuellen Varianz hinsichtlich der Qualität und Quantität von Lehrervorstellungen wurde ein wenig elaboriertes Verständnis über die Bedeutung von Modellen in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung festgestellt (Van Driel & Verloop, 1999; Justi & Gilbert, 2003). Häufiges Resultat ist eine Unterrichtspraxis, die im Konflikt mit der erkenntnisgenerierenden Modellbildung steht. Schülerinnen und Schüler sind meist Konsumenten eines von Autoritäten vermittelten Wissens, das sie infolge nicht selbstständig konstruieren, testen und ändern können. Dadurch ist es für sie schwierig zu verstehen, dass Modelle wichtige Werkzeuge zum Denken sind (Driver et al., 1996).

Bezüglich der kognitiven Voraussetzungen betont Halloun (2006), dass eine Transformation wissenschaftlich naiver Schülerperspektiven hin zu Vorstellungen über Modelle als Erkenntnismethode über Schuljahre hinweg und nur mit einer Förderung vollzogen werden kann. Die wissenschaftliche Perspektive können Schülerinnen und Schüler rein kognitiv erst in der Oberstufe begreifen. Matthews (2000, S. 332, 349) schreibt diesbezüglich:

„We have centuries of evidence to show that natural thinking is neither rational nor scientific. Scientific thinking has to be cultivated and nurtured. It is the result of education... Without teachers there are neither scientists nor scientifically literate citizens.“

Der Transformationsprozess der Schülervorstellungen verläuft nach Halloun (2006) analog zur historischen Entwicklung des Wissenschaftsverständnisses von Aristoteles bis zu Galileo:

Aristoteles ging noch davon aus, dass die Realität unseren Sinnen direkt zugänglich sei und mithilfe der Philosophie erklärt werden könne. Das entspricht einem *naïven Verständnis* über die Wissenschaft als kumulatives, deskriptives Faktensammeln ohne reflektierende Suche nach Zusammenhängen. Bei dieser Sichtweise werden Theorie und Realität gleichgesetzt (Driver et al., 1996) und Modelle als Kopien der Realität betrachtet (Grosslight et al., 1991). Stephens und Team (1999) sprechen in diesem Zusammenhang von phänomenbasierten Argumenten zur Beschreibung eines Phänomens.

Im Mittelalter versuchte man dann die Realität mithilfe der Mathematik konkreter zu verstehen (Halloun, 2006). Mit einem *relativistischen Wissenschaftsverständnis* war man auf der Suche nach überprüfbaren Erklärungen über Zusammenhänge (Driver et al., 1996). Stephens und Kollegen (1999) sprechen daher von *zusammenhangsbasierten Argumentationen*. Modelle spielten dabei eine wichtige Rolle, da sie die Realität durch Fokussierung auf beziehungsweise Vernachlässigung von Aspekten vereinfachen. Die Überprüfung von Hypothesen mithilfe von Modellen durch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gewann jedoch erst später an Bedeutung (Carey et al., 1989; Grosslight et al., 1991).

Die Wende zur modernen Wissenschaft bildete letztlich Galileo. Er nutzte die Modellbildung, um auch nicht wahrnehmbare Aspekte der Realität zu beschreiben und zu erklären (Halloun, 2006). Entsprechend diesem *konstruktivistischem Verständnis* von Wissenschaft wird vorläufiges Wissen in einem zyklischen und kumulativen Prozess generiert (Driver et al., 1996). Modelle spielen dabei eine bedeutende Rolle, da mit ihnen Hypothesen getestet und neue Erkenntnisse über ein Phänomen generiert werden können (Grosslight et al., 1991). Stephens und Kollegen (1999) sprechen daher von *modellbasierten Argumentationen*.

Halloun (2006) beschreibt, dass diese beschriebenen drei Stationen der historischen Entwicklung von wissenschaftlich naiven Perspektiven zu Vorstellungen über Modelle als Erkenntnismethoden bei der Entwicklung von Förderangeboten bedacht und thematisiert werden sollten.

2.5.4 Interventionsstudien zur Entwicklung von Modellverständnis

Der beschriebene Transformationsprozess zur wissenschaftlichen Sicht auf Modelle und die Modellbildung setzt eine didaktische Wende von reinen *inhaltsorientierten Unterrichtsansätzen* zu gleichzeitigen *denk- und handlungsorientierten Ansätzen* zu Modellen und zur Modellbildung voraus. Schülerinnen und Schüler sollen lernen, eigene Modelle selbstständig zu konstruieren und modellbasiert zu denken, um unbekannte Phänomene zu erklären (Treagust et al., 2004; Henze et al., 2007). Bezüglich der praktischen Umsetzung wird gesagt: „We do not learn much from looking at a model – we learn more from building the model and from manipulating it“ (Morrison & Morgan, 1999, S. 12). Entsprechend einer *modeling-centered scientific inquiry* sollen Schülerinnen und Schüler Modelle konstruieren, testen, ändern und evaluieren, um Phänomene zu verstehen und vorherzusagen (z. B. Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006). Dabei können nach Maia und Justi (2009, S. 606) folgende Lernziele erreicht werden:

„(...) engaging students in modelling has the potential to stimulate scientific understanding (...). It also provides a real context for students to think about the purposes of science, and purposes of the tools of science (like models and theories).

In this way, model building becomes a powerful activity for engaging students in doing and thinking about science”.

Im Folgenden werden Studien vorgestellt, die den Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis untersuchten.

Das Projekt *Modeling for Understanding in Science Education (MUSE)*¹¹ hat sich zum Ziel gesetzt, Unterrichtsmaterialien zur Förderung von Schülerfähigkeiten zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung zu entwickeln. Im Fokus steht dabei die Vermittlung von Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis. Im Unterrichtsfach Biologie konstruierten Schülerinnen und Schüler der Oberstufe beispielsweise Computermodele zu den ‘Mendelschen Gesetzen’ auf der Basis von vermitteltem Fachwissen, um Zusammenhänge zu erklären (Cartier, 2000). Diskussionsrunden waren Anlass zum Ändern der Modelle und dienten zur Reflexion der Modellbildung als naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung. Wissen zur Bedeutung von Modellen in der Wissenschaft wurde außerdem mithilfe von Informationstexten direkt vermittelt. Die gesamte Unterrichtsreihe umfasste einen Zeitraum von neun Wochen. Das Verständnis der Schülerinnen und Schüler über wissenschaftliche Modelle, zum Prozess der eigenen Modellbildung und der Nutzung der konstruierten Modelle wurde mithilfe von Interviews (N=7) und Concept-Maps zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Unterrichtsreihe erfasst. Demnach änderte sich das Modellverständnis der Schülerinnen und Schüler von einer pädagogischen Perspektive auf Modelle zu einer wissenschaftlichen über Modelle als wichtige Denkwerkzeuge zur Erklärung und Vorhersage neuer Erkenntnisse. Cartier (2000) beschreibt die Schülervorstellungen eher global mit einem Fokus auf die Eigenschaften von Modellen und deren Zweck. Konkrete Vorstellungen zu den Aspekten *Alternative Modelle* sowie das *Testen* und *Ändern von Modellen* werden nicht aufgeführt.

Schwarz und White (2005) entwickelten die Unterrichtsreihe *Model-Enhanced ThinkerTools (Mett)* mit einem Fokus auf die Modellbildung als naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung für das Unterrichtsfach Physik. Dabei wurden vier Klassen der Jahrgangsstufe sieben zehneinhalb Wochen täglich 45 Minuten lang unterrichtet. Konkrete Unterrichtsinhalte waren zunächst inhaltliche Instruktionen in Form von schriftlichen Texten und Klassendiskussionen mit Reflexionen zu den Aspekten *Eigenschaften* und *Zweck von Modellen*, den *Prozess der Modellbildung* und die *Evaluation von Modellen* hinsichtlich spezifischer Kriterien, wie Akkurateesse und

¹¹ Das Projekt MUSE wird durch das *National Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science* durchgeführt.

Nützlichkeit. Nach konkreten Experimenten zur Thematik 'Kraft und Bewegung' konstruierten die Schülerinnen und Schüler Computermodelle zu ihren individuellen Vorstellungen, um sie anschließend zu testen, zu ändern und zu evaluieren. Im Pre- und Posttest erfolgte ein schriftlicher Wissenstest zu Modellen und zur Modellbildung. Zusätzliche Interviews mit zwölf Schülerinnen und Schülern sollten einige Monate nach der Unterrichtsreihe ein tieferes Modellverständnis erfassen. Im Fokus beider Erhebungsinstrumente standen die gleichen Aspekte zu Modellen und zur Modellbildung, die auch in den inhaltlichen Instruktionen thematisiert wurden. Die Autoren berichten, dass die Unterrichtsreihe das Modellwissen zu den Aspekten *Eigenschaften* und *Zweck von Modellen* förderte. Die Schülerinnen und Schüler beschrieben Modelle als abstrakte Repräsentationen oder Vermutungen zu den Zwecken der Visualisierung, des Erklärens sowie des Vorhersagens im Rahmen von Untersuchungen. Sie begriffen die Existenz alternativer Modelle zu einem Phänomen und den vorläufigen Charakter von Modellen. Das Verständnis zur Modellbildung mit den Aspekten Konstruktion, Evaluation und Änderung von Modellen wurde durch die Unterrichtsreihe nicht gefördert. Die Schülerinnen und Schüler begriffen nicht, dass Modelle aufgrund von neuen Erkenntnissen geändert werden können und argumentierten für eine Gleichwertigkeit aller Modelle. Der Zusammenhang zwischen der praktischen Durchführung der Modellbildung zur Erkenntnisgewinnung zum Erwerb eines elaborierten Modellverständnisses kann mithilfe der Studie von Schwarz und White (2005) demnach nicht geklärt werden. Es scheint, dass das deklarative Modellwissen durch die inhaltlichen Instruktionen und Reflexionen gefördert, das prozedurale Wissen zur Modellbildung trotz der praktischen Durchführung jedoch nicht beeinflusst wurde.

Während Schwarz und White (2005) ein induktives Codierschemata zur Auswertung der Interviewdaten nutzten, entwickelten die Autoren des Projekts *Modeling Design for Learning Science* (MoDeLS) zu diesem Zweck eine theoretische Struktur auf Grundlage verschiedener Studien (Schwarz et al., 2009). Diese *learning progression* wurde bereits in Kapitel 2.3.2 vorgestellt. Sie bildet verschiedene Niveaus der Tätigkeiten und des Metawissens zur Modellbildung ab (siehe Tab. 3). Zur empirischen Überprüfung der theoretischen Struktur wurden verschiedene Unterrichtseinheiten sechs Wochen lang mit Schülerinnen und Schülern der fünften Jahrgangsstufe (Thema: 'Verdunstung und Kondensation') sowie sechsten Jahrgangsstufe (Themen: 'Bedeutung von Licht beim Sehen', 'Verbreitung von Gerüchen') durchgeführt und evaluiert. Der Fokus lag auf der Durchführung der Modellbildung mit den Schritten Konstruieren, Testen, Ändern und Evaluieren von eigenen gezeichneten Modellen sowie der Nutzung wissenschaftlicher Modelle zur Erklärung der Phänomene. Das Verständnis der Schülerinnen und Schüler zur Modellbildung wurde mithilfe von Gruppeninterviews erfasst. Bezüglich der Ergebnisse berichten die Autorinnen und Autoren, dass alle Probandinnen und Probanden in der Lage

waren, eigene abstrakte Modelle zu zeichnen, um ihr Verständnis über Zusammenhänge zum Phänomen zu erklären. Die Schülerinnen und Schüler verglichen ihre Modelle miteinander und veränderten sie bei neu erlerntem Wissen über das Phänomen. Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009) berichten zudem, dass sich das Verständnis der Schülerinnen und Schüler durch die praktische Modellbildung entwickelt: bezüglich des Zwecks von Modellen zur Beschreibung des Phänomens hin zur Erklärung von Zusammenhängen; von der Einschätzung über die Richtigkeit eines Modells hin zu Erklärungen über die Existenz verschiedener gültiger Modelle zu einem Phänomen; von einem Ändern von Modellen zur besseren Akkuratessse hin zum Ändern für eine bessere Erklärbarkeit von Modellen (S.646, S. 651). Es wird deutlich, dass sich die Schülerperspektiven auf die Modellbildung nicht in die wissenschaftliche Richtung entwickelten, da weiterhin der mediale Nutzen von Modellen im Fokus steht. Die Autoren begründen das unter anderem damit, dass die Schülerinnen und Schüler die Modelle nicht für das persönliche Verständnis zeichneten, sondern für die Lehrkraft mit einem Fokus auf fachliche Richtigkeit (Schwarz et al., 2009, S. 652).

In einer aktuellen Studie untersuchte Schwarz erneut mit einem Kollegen (Baek & Schwarz, 2015) die Entwicklung epistemologischer Vorstellungen durch Tätigkeiten der Modellbildung. Dazu werteten die Autoren Transkripte und Zeichnungen zweier Probanden aus dem gleichen, bereits vorgestellten Projekt (*MoDeLS*) mithilfe von Fallanalysen aus. Konkret untersuchten sie die Aspekte *Modelle zur Erklärung von Zusammenhängen* und *Ändern von Modellen aufgrund neuer Erkenntnisse*. Bereits die beschriebenen Niveaus zu diesen zwei Aspekten verdeutlichen, dass auch in dieser Studie kein Zusammenhang zwischen praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung und der Aktivierung von Vorstellungen über die Modellbildung als wissenschaftliche Erkenntnismethode aufgezeigt wurde. Bei dem Aspekt *Modelle zur Erklärung von Zusammenhängen* erreichten die Probanden ein umso höheres Niveau, je genauer sie die Zusammenhänge zum Phänomen fachwissenschaftlich korrekt erklärten. Bezüglich des Ändern von Modellen wurde das höchste Niveau bei der Integration neuer Erkenntnisse in das Modell erreicht. Sie beruhten auf Instruktionen durch die Lehrkraft oder anderen Gruppenmitgliedern sowie auf Computersimulationen oder Experimenten. Bei den Experimenten ging es nicht um die Überprüfung von Hypothesen über das Phänomen, sondern um das Erlernen von Fachwissen.

Dieser Artikel von Baek und Schwarz (2015) erschien im Sonderheft „*Engaging Students in Modeling as an Epistemic Practice of Science*“ des „*Journal for Science Education and Technology*“. Die Herausgeber Campbell und Oh (2015) machen darauf aufmerksam, dass sich von den fünfzehn Artikeln nur drei der experimentellen Modellbildung widmen, bei der es um die Untersuchung von Hypothesen über ein Phänomen mithilfe von Modellen geht. Dazu zählt der beschriebene Artikel von Baek und Schwarz (2015), der

passend zur Thematik der vorliegenden Arbeit als einziger zum Ziel hatte, ein Verständnis über den wissenschaftlichen Wert von Modellen mithilfe von Tätigkeiten zur Modellbildung zu vermitteln.

Gobert und Pallant (2004) untersuchten in ihrer Studie, inwiefern verschiedene Tätigkeiten zur praktischen Modellbildung das Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern fördert und inwiefern ein Zusammenhang zwischen dem Modellverständnis und dem Fachwissen beschrieben werden kann. Zur Beantwortung ihrer Fragen führten sie mit 15 Klassen der Sekundarstufen I und II eine Unterrichtsreihe zur Thematik 'Plattentektonik' im Unterrichtsfach Geografie durch, bei der die Schülerinnen und Schüler visuelle Modelle zu ihrem eigenen Wissen zeichnen. Das anschließende Testen und Ändern der Modelle erfolgte auf Grundlage neuen Wissens durch Animationen zur Thematik sowie von Bewertungen durch Mitschülerinnen und -schüler. Direkte Instruktionen erfolgten textbasiert zu den Fragen „Was ist ein Modell?“ und „Wie bewertet man ein Modell?“. Schriftliche Pre- und Posttests dienten zur Erfassung des Fachwissens und des Modellverständnisses. Die Probandinnen und Probanden beschrieben, dass Modelle auch in der Wissenschaft zur Veranschaulichung genutzt werden, für die Verständlichkeit beschriftet sein müssen und Details aufweisen. Die Schülerinnen und Schüler gingen meist von einer Ähnlichkeit zwischen Modell und Phänomen aus. Alternative Modelle zu einem Phänomen wurden mit mehreren Wegen zum Lösen von Problemen oder mit unterschiedlichen Erklärungen von verschiedenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern begründet. Der Weg des Problemlösens selbst wurde dabei nicht weiter ausgeführt, um das zugrundeliegende Modellverständnis einordnen zu können. Das Ändern von Modellen wurde mit Fehlern im Modellobjekt begründet. Zusammenfassend argumentieren Gobert und Pallant (2004, S. 15) trotz der ersichtlichen pädagogischen Schülerperspektive auf Modelle:

„(...) that engaging and supporting students in authentic model-based learning promotes (...) deep understanding of models and how they are used in science (...). Our results showed that epistemologically sophisticated students also made greater content gains (...). We believe (...) that, if a student has a better understanding of the nature of models and how models are used to make predictions, etc., the student is likely to make use of this knowledge when learning from and reasoning with models.“

Mithilfe dieser Studie kann ein Zusammenhang zwischen dem Modellverständnis und dem Erlernen von Fachwissen begründet werden, nicht jedoch zwischen der praktischen Modellbildung und dem Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass keine empirische Studie gefunden werden konnte, die einen direkten Einfluss der praktischen Modellbildung auf elaborierte Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung belegt. Die meisten Untersuchungen zur Modellbildung erfolgen in den Unterrichtsfächern Chemie und Physik mit einem Fokus auf das Erlernen von Fachwissen (z. B. Jackson et al., 1994; Barab et al., 2000; Mendonca & Justi, 2011). Studien, die auf den Prozess der Modellbildung fokussieren, führten Unterrichtsreihen über mehrere Wochen mit vielen weiteren Tätigkeiten, wie Diskussionen, Präsentationen oder Reflexionen durch und vermittelten direkt Wissen über Modelle und die Modellbildung. Dadurch kann keine Aussage getroffen werden, welcher Faktor (Zeit, Tätigkeit, Instruktion) das Modellverständnis der Schülerinnen und Schüler gegebenenfalls beeinflusste. Die Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung wurden meist vor und nach den Unterrichtsreihen mithilfe von Fragebögen oder Interviews erfasst. Maia und Justi (2009, S. 606) kritisieren daran:

„Therefore, such research (...) cannot analyze how students' learning process occurs, which elements influence the development of their knowledge, and how—which would require more than data on the knowledge acquired by students.“

Bis auf die Studien von Schwarz und Team wird außerdem deutlich, dass meist eine theoretische Struktur zur Diagnose von unterschiedlich elaborierten Schülervorstellungen zu den vielfältigen Modellaspekten fehlt. Fleige, Seegers, Upmeyer zu Belzen und Krüger (2012) stellen daher fest, dass in der Literatur kaum konkrete und überprüfte Interventionen beschrieben werden, die einen messbaren modellbezogenen Kompetenzzuwachs bei Schülerinnen und Schülern ermöglichen.

2.6 Problemstellung

Bereits 1973 stellte Stachowiak fest, dass jede menschliche Weltbegegnung das Medium *Modell* voraussetzt. Der Konstruktivismus beschreibt das Lernen als eine Entwicklung von individuellen mentalen Modellen (Jonassen, 1991), jegliche Kommunikation basiert auf der Externalisierung von Modellen (Seel, 1991), wissenschaftliches Arbeiten wird mit dem Konstruieren, Testen und Ändern von Modellen gleichgesetzt (Giere, 1988) und im Schulkontext ist Wissenschaft daher ohne Modelle weder lehr- noch lernbar (Harrison & Treagust et al., 2001). Ein modellbasierter Unterricht fördert die grundlegenden Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts nach Hodson (1993, 2014), wobei der selbstständigen Modellbildung eine zentrale Bedeutung zugeschrieben wird (z. B. Henze et al., 2007). Viele Autoren gehen davon aus, dass Schülerinnen und Schüler durch das Konstruieren, Testen und Ändern von Modellen Fachwissen (*learning science*), Fähigkeiten zur Erkenntnisgewinnung (*doing science*) und Modellverständnis als Bestandteil eines Wissenschaftsverständnisses (*learning about science*) erlangen (z. B. Lehrer & Schauble, 2006). Das zuletzt genannte Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts hat in den internationalen und nationalen Standards und Curricula eine große Bedeutung, da ein Verständnis über die charakteristischen Grundzüge der Erkenntnisgewinnung und die Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens in einem durch Naturwissenschaften und Technik geprägten Alltag unverzichtbar sind (z. B. KMK, 2005; NGSS Achieve Inc., 2013).

Im Unterrichtsalltag jedoch werden Modelle überwiegend zur Vermittlung von Fachwissen eingesetzt und deren bedeutende Rolle im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess bleibt meist unreflektiert (z. B. Van Driel & Verloop, 1999). Als Resultat belegen viele empirische Studien sowohl bei Schülerinnen und Schülern als auch bei Lehrkräften Vorstellungen mit einer pädagogischen Perspektive auf Modelle als visualisierende Medien (z. B. Grosslight et al., 1991). Voraussetzung für eine Erweiterung zur wissenschaftlichen Sicht auf Modelle und die Modellbildung ist eine entsprechende Förderung über mehrere Schuljahre (Halloun, 2006). Doch für eine didaktische Wende von den derzeitigen inhaltsorientierten Unterrichtsansätzen zu gleichzeitigen denk- und handlungsorientierten Ansätzen mangelt es derzeit noch an adäquaten Unterrichtsmaterialien (Justi & Gilbert, 2002). Daher haben sich viele empirische Interventionsstudien zum Ziel gesetzt, Unterrichtsreihen mit einem Fokus auf die praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis zu entwickeln (z. B. Schwarz & White, 2005; Schwarz et al., 2009). Die vorliegende Analyse dieser Studien (Kapitel 2.5.4) zeigt eine Forschungslücke für das Unterrichtsfach Biologie auf, einen Mangel an fokussierten empirischen Überprüfungen praktischer Tätigkeiten im Prozess der Modellbildung (vgl. Maia & Justi, 2006; S. 606) sowie eine geringe Anwendung von theoretischen Strukturen zur Diagnose von unterschiedlich elaborierten

Schülervorstellungen zu den vielfältigen Modellaspekten. Bisher konnte kaum ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten der Modellbildung zur Förderung von elaboriertem Modellverständnis aufgezeigt werden (Kapitel 2.5.4).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, die Aktivierung von Schülervorstellungen zu verschiedenen Modellaspekten durch eine *modeling-centered scientific inquiry* mit den Prozessen des Konstruierens, Testens und Änderns von Modellen für das Fach Biologie zu untersuchen. Das kommt der Forderung nach, bei der Erfassung von Modellkompetenz als naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsweise neben den bereits vielfältig erfassten kognitiven Fähigkeiten das praktische, manuelle Ausführen der Modellbildung nicht zu vernachlässigen (vgl. Schecker & Parchmann, 2006, S. 46). Die Untersuchung von Schülervorstellungen während der praktischen Durchführung des Prozesses der Modellbildung steht noch aus. Daher wird auf der theoretischen Basis des Modells der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002; Kapitel 2.1.4), dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010, Kapitel 2.3.2) und empirischen Studien zur Thematik (Kapitel 2.5.1, 2.5.4) eine standardisierte Hands-On-Aufgabenstruktur entwickelt und evaluiert. Sie regt Schülerinnen und Schüler dazu an, verschiedene Tätigkeiten der Modellbildung auszuführen, um eigene Hypothesen zu untersuchen.

Mit Blick auf die Anbindung in den Schulkontext werden außerdem mithilfe eines experimentellen Untersuchungsdesigns Unterschiede zwischen verschiedenen Formen der Modellbildung auf die Schülervorstellungen über Modelle untersucht. Die Probandinnen und Probanden haben die Aufgabe, konkrete Modelle zu zeichnen, mit verschiedenen Materialien zu konstruieren oder Denkmodelle zu verbalisieren.

Die vorliegende Arbeit untersucht folgende Forschungsfragen:

(1) Inwiefern führen praktische Tätigkeiten zur Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) zu einem erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess?

Die Ausführung von modellbildenden Tätigkeiten sind für Schülerinnen und Schüler anspruchsvoll und müssen daher vorstrukturiert und angeleitet werden (Sins et al., 2005). Das gilt insbesondere bei der Modellbildung für ein hypothetisch-deduktives Vorgehen, das grundlegend zur Aktivierung von elaborierten Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung ist (Shavelson & Ruiz-Primo, 1999). Bei entsprechender Unterstützung ist die Lösung von Hands-On-Aufgaben motivierender als die Bearbeitung von schriftlichen Aufgaben (Klein, 1995), insbesondere wenn sie in einem für Schülerinnen und Schüler realen und interessanten Kontext situiert sind (Baxter & Shavelson, 1994). Entsprechend kann folgende Hypothese formuliert werden:

H1: Schülerinnen und Schüler führen einen erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess durch, wenn die praktischen Tätigkeiten der Modellbildung vorstrukturiert werden und in einem realen Kontext situiert sind.

(2) Inwiefern aktiviert die Durchführung praktischer Tätigkeiten zur Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) Schülervorstellungen über Modelle als Erkenntnismethoden?

Die konkrete Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung in einer kontextspezifischen Situation bietet die Möglichkeit, komplexe epistemologische Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung zu erfassen (Hamilton et al., 1997; Elby & Hammer, 2001; Sins et al., 2009; Kapitel 2.3.1). Zusätzlich können Hands-On-Aufgaben zur Modellbildung intervenierend wirken, wenn die ModelliererIn oder der Modellierer vorhandene kognitive Strukturen testet, reflektiert und anschließend weiterentwickelt (Nersessian, 2002). Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler postulieren daher, dass die Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung elaborierte Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung aktiviert (z. B. Grosslight et al., 1991; Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006; Schwarz et al., 2009). Bisher konnte keine Studie gefunden werden, die diesen Zusammenhang für das Fach Biologie belegt (Kapitel 2.5.4). Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit ist daher folgende Hypothese:

H2: Mithilfe eines qualitativen Untersuchungsdesigns können im Prozess der erkenntnisgenerierenden Modellbildung elaborierte Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung erfasst werden.

(3) Inwiefern lässt sich in den Schüleraussagen eine globale, didaktisch orientierte Perspektive auf Modelle analysieren?

Verschiedenste Untersuchungen zeigen, dass Schülerinnen und Schüler besonders häufig didaktisch orientierte Sichtweisen einnehmen, nach denen Modelle zur Kommunikation und Zugänglichmachung von Phänomenen dienen (Grosslight et al., 1991; Ingham & Gilbert, 1991; Schwarz et al., 2009). Grünkorn (2014) konnte aufzeigen, dass sich die beiden Kategorien *Modelle als Mittel zur Verständlichkeit/Kommunizierbarkeit* und *Modelle als Mittel zur Zugänglichkeit* über alle fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz erstrecken. Daraus ergibt sich folgende Hypothese:

H3: In allen fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz (*Eigenschaften von Modellen, Alternative Modelle, Zweck, Testen und Ändern von Modellen*) können

Schüleraussagen in didaktisch orientierte Kategorien geordnet werden und damit eine globale Perspektive auf Modelle und die Modellbildung analysiert werden.

(4) Inwiefern unterscheiden sich die grafische, gegenständliche und verbalisierende Modellbildung mit Blick auf den Prozess der erkenntnisgenerierenden Modellbildung und den dabei aktivierten Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung?

Das grafische und gegenständliche Modellieren hilft Schülerinnen und Schülern, individuelle Vorstellungen zum Phänomen zu externalisieren und mithilfe des Modells weiterzudenken (van Meter & Garner, 2005; Leutner & Opfermann, 2013). Die konkrete Durchführung der Modellbildung unterstützt dabei die Artikulation komplexer Vorstellungen (Hamilton et al., 1997). Das Zeichnen ist eine visuelle Lernstrategie (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011), da räumliche Informationen und abstrakte Zusammenhänge zu einem Phänomen in eine bildlich erklärende und konkrete Darstellung übersetzt werden können (van Meter & Garner, 2005). Die verbalisierende Modellbildung bietet keine Möglichkeit, die Vorstellungen von einem externalisierten Modell aus weiterzudenken (Leenars et al., 2012). Aus den genannten Gründen werden folgende Hypothesen in der vorliegenden Arbeit untersucht:

H4a: Die Modellbildung mit konkreten Materialien bietet eine authentische Form der Erkenntnisgewinnung mit Modellen und aktiviert epistemologische Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung.

H4b: Die grafische Modellbildung regt als visuelle Lernstrategie Schülervorstellungen über Modelle als Medien zum Zweck der Visualisierung an.

H4c: Die reine Verbalisierung von Ideen zum Modellbildungskontext fällt den Schülerinnen und Schülern ohne ein konkretes Modellobjekt schwer. Die Schülerinnen und Schüler äußern aufgrund der fehlenden konkreten Handlung keine komplexen Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung.

(5) Inwiefern unterscheiden sich die vier möglichen Kombinationen der Modellbildungsprozesse Zeichnen oder Verbalisieren im ersten Schritt und Konstruieren oder Verbalisieren im zweiten Schritt (Zeichnen/Konstruieren, Zeichnen/Verbalisieren, Verbalisieren/Verbalisieren, Verbalisieren/Konstruieren) hinsichtlich der Verteilung der Schüleraussagen auf die Niveaus der Teilkompetenzen von Modellkompetenz?

Die konkrete Bildung eines Modellobjekts fällt Schülerinnen und Schülern leichter als das reine Verbalisieren von Modellideen. Bei der Ausführung einer konkreten Handlung

besteht die Möglichkeit, komplexe epistemologische Vorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung zu erfassen (Hamilton et al., 1997; Elby & Hammer, 2001; Sins et al., 2009; Kapitel 2.3.1). Dementsprechend wird folgende Hypothese formuliert:

H5: Bei der Kombination aus grafischer Modellbildung im ersten Schritt der Hands-On-Aufgabe mit der gegenständlichen Modellbildung im zweiten Schritt werden die meisten elaborierten Schülervorstellungen über die erkenntnisgenerierende Modellbildung aktiviert.

(6) Welche Angebote der Hands-On-Aufgabenstruktur aktivieren wissenschaftliche Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung?

Viele Autorinnen und Autoren beschreiben neben den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung angeleitete Reflexionen über neue Erkenntnisse zum zugrundeliegenden Phänomen, über die Grenzen der konstruierten Schülermodelle oder über die Modellbildung in der Wissenschaft als Schlüsselmomente zur Förderung von Modellverständnis (z. B. Treagust et al., 2002; Sins et al., 2005; Halloun, 2006). Die Konstruktion verschiedener Modelle zu einem Phänomen und die Diskussion über alternative Modelle aus dem schulischen und wissenschaftlichen Kontext zeigen den vorläufigen und gedanklichen Charakter von Modellen auf (Penner et al., 1997; Harrison & Treagust, 2000; Schwarz et al., 2009). Die sechste Hypothese lautet daher:

H6: Neben den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung aktivieren verschiedene Reflexionsangebote über Modelle und die Modellbildung elaborierte Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung.

3 Operationalisierung der Modellbildung

In der vorliegenden Untersuchung werden Tätigkeiten und Reflexionsangebote zur Modellbildung entwickelt und hinsichtlich der Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen im Prozess der Modellbildung empirisch überprüft. Dabei vollziehen sich sowohl die Entwicklung als auch die Überprüfung auf der Basis von Theorien. Damit lässt sich die Untersuchung der entwicklungsorientierten Evaluationsforschung nach Krüger (2003) zuordnen. „Sie stellt einen Forschungsrahmen zur Verfügung für die theoretisch fundierte Entwicklung eines Lernangebotes, seine Optimierung und die empirisch abgesicherte Überprüfung der Wirkung“ (ebd, S. 15). Der Autor beschreibt ein Vorgehen für eine „Entwicklungsforschung auf wissenschaftlichem Niveau“ (Krüger, 2003, S. 15). Demnach wird in der ersten Phase mit dem Untersuchungsgegenstand die Theorie festgelegt, die leitend für das weitere Vorgehen ist (Abb. 10).

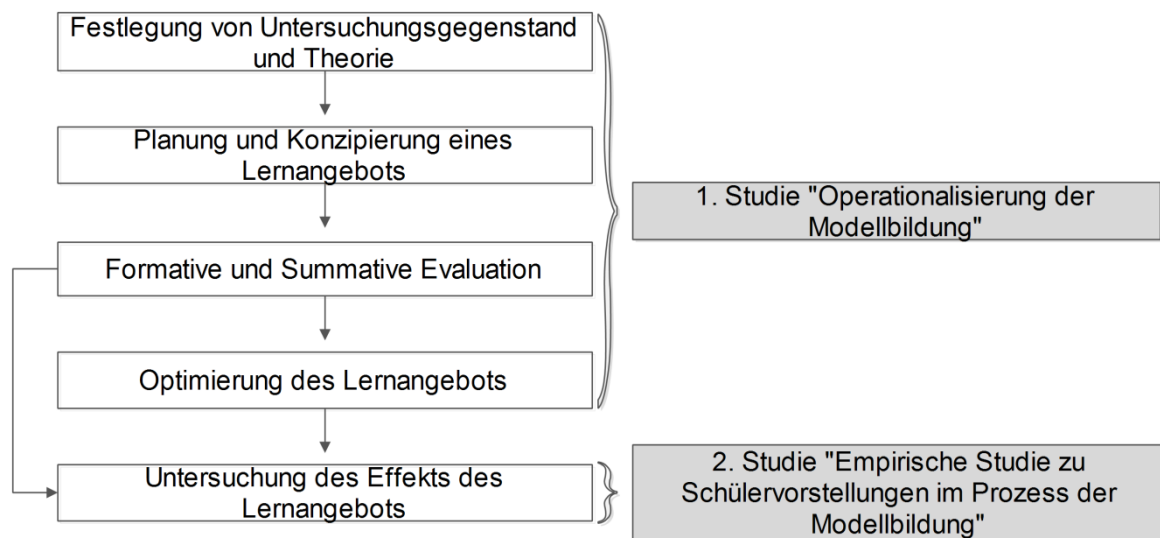


Abb. 10: Einordnung des Projekts in die entwicklungsorientierte Evaluationsforschung nach Krüger (2003).

In der zweiten Phase der Planung und Konzipierung eines Lernangebots liefert die Theorie die Basis, „mit der es gelingen kann, bereits bei der Planung der Entwicklung eines Lernangebots alle relevanten Entwicklungsaspekte zu berücksichtigen“ (Krüger, 2003, S. 16).

In der folgenden Phase wird der Effekt des entwickelten Lernangebots theoriebasiert evaluiert. Die Evaluation kann auf formative und summative Weise erfolgen. Bei der formativen Evaluation wird der Effekt des Lernangebots im Prozess der Anwendung auf qualitative Weise erfasst, um es zu optimieren (Maier, 2010). Dagegen erfolgt die summative Evaluation auf quantitative Weise, um die Wirksamkeit des Lernangebots zusammenfassend nach deren Beendigung zu beurteilen (Black & Wiliam, 2009). Nach Krüger (2003, S. 19 f.) ist der „üblicherweise erste Schritt Entwicklungsorientierter

Evaluationsforschung die formative Evaluation (...). Die summative Evaluation erfolgt am Ende des Forschungsprozesses“. Der Autor weist jedoch gleichzeitig daraufhin, dass im Prozess der formativen Evaluation „erkundungsmäßig Fragmente oder auch ganze Instrumentarien der summativen Evaluation zum Einsatz kommen, um auch diese Instrumentarien zu testen und erste Hinweise darüber zu erhalten, ob die Untersuchung in der geplanten und beabsichtigen Form durchzuhalten ist“ (Krüger, 2003, S. 20). Entsprechend des Ziels der vorliegenden Untersuchung, die Aktivierung von Schülervorstellungen durch entwickelte Tätigkeiten und Reflexionsangebote zur Modellbildung zu untersuchen, ist der methodische Fokus qualitativ und der formativen Evaluation zuzuordnen. Gleichzeitig kommen summative Instrumentarien zum Einsatz, um Aussagen zur Effektivität der entwickelten Angebote zur Modellbildung mit Blick auf die Modellkompetenz der Probandinnen und Probanden treffen zu können.

Entsprechend des Vorgehens entwicklungsorientierter Evaluationsforschung gliedert sich das vorliegende Projekt in die aufeinanderfolgenden Studien „Operationalisierung der Modellbildung“ (Kapitel 3) und „Empirische Studie zu Schülervorstellungen im Prozess der Modellbildung“ (Kapitel 4, Abb. 10). In der ersten Studie werden als ausführungsbezogenes Instrument zur Modellbildung Hands-On-Aufgaben mit entsprechenden Methoden zur Datenerfassung und -auswertung theoriebasiert konzipiert (Kapitel 3.1). Nach mehreren Evaluierungsschritten im Rahmen von Expertendiskussionen, Unterrichtserprobungen (Kapitel 3.2) und einer empirischen Erprobung (Kapitel 3.3) wird mithilfe der summativen Evaluation in Form von Häufigkeitsanalysen festgestellt, inwiefern die Hands-On-Aufgabe Schülervorstellungen zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung aktiviert, welche Jahrgangsstufe für die Hauptstudie geeignet ist und ob der Kontext in Bezug auf die Schwierigkeit angemessen ist. Bei der formativen Evaluation in Form von Einzelfallanalysen werden Effekte der Aufgabenstruktur auf die Schülervorstellungen über Modelle mit dem Ziel beobachtet, die Hands-On-Aufgabe zu optimieren (Kapitel 3.3.5, 3.3.6). Diese dient in der zweiten Studie dazu, die Aktivierung von Schülervorstellungen zu verschiedenen Modellaspekten durch Tätigkeiten, Reflexionsangebote und verschiedene Formen der Modellbildung zu untersuchen.

3.1 Hands-On-Aufgaben

Als ausführungsbezogenes Instrument zur Modellbildung eignen sich Hands-On-Aufgaben als eine Form von *performance assessment*. Sie regen Probandinnen und Probanden dazu an, den Prozess wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu einem bestimmten Kontext mithilfe konkreter Materialien auszuführen. Rater bewerten anschließend die prozessspezifischen Handlungen und die kognitiven Aspekte (Shavelson, Baxter & Gao,

1993). Hands-On-Aufgaben sind eine Komposition aus drei wesentlichen Elementen (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996):

- a) konkrete Aufgabenstellungen zu einem bestimmten Kontext, die die Durchführung der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung mit konkreten Materialien anregen und für die Probandinnen und Probanden Vorgaben zur Dokumentation der Ergebnisse bereitstellen,
- b) passende Erhebungsmethoden für die Daten,
- c) ein für das Untersuchungsziel spezifisches Scoring System zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Dabei kann die Korrektheit von Antworten bewertet werden, aber auch der Prozess der Erkenntnisgewinnung oder dabei angewendete kognitive Aspekte.

Diese drei Komponenten verdeutlichen, dass die Konzipierung, Durchführung und Auswertung von Hands-On-Aufgaben material- und zeitaufwändig sind. Mit Blick auf die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität (z. B. Rost, 2004) müssen die Aufgabenstellungen, Testdurchführungen und das Auswertungsprozedere standardisiert sowie Testdurchführerinnen und -durchführer sowie Raterinnen und Rater trainiert werden (Shavelson et al., 1993). Hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass Hands-On-Aufgaben intervenierend wirken, da im Prozess der Erkenntnisgewinnung vorhandene kognitive Strukturen getestet und reflektiert werden und sich dadurch Vorstellungen entwickeln (Nersessian, 2002).

Die Vorteile von Hands-On-Aufgaben liegen erstens darin, dass sie durch den Prozess der Erkenntnisgewinnung andere Einblicke in das Wissenschaftsverständnis von Schülerinnen und Schülern (speziell in das prozedurale Wissen) bieten als schriftliche Aufgabenformate (Wiggins, 1989; NRC, 1996). Zweitens sind Schülerinnen und Schüler motivierter Hands-On-Aufgaben zu lösen als andere Aufgabentypen (Klein, 1995), besonders wenn die Aufgaben in einem für sie realen und interessanten Kontext situiert sind (Brown et al., 1989; Baxter & Shavelson, 1994). Und schließlich können gut konstruierte und empirisch überprüfte Hands-On-Aufgaben auch für Lehrkräfte hilfreiche Instruktionen zur Erkenntnisgewinnung mit Modellen im Unterricht bieten (Wang et al., 2014). Auf einer Konferenz über *performance assessments* wurde daher treffend festgestellt: "We should not be asking can we afford to have performance assessments in science, but rather, can we afford not to have them?" (Stage, 1995, zitiert nach Stecher & Klein, 1997, S. 12).

Basierend auf den beschriebenen Charakteristika von Hands-On-Aufgaben erfolgte in der vorliegenden Untersuchung zur Standardisierung und Gewährleistung der Güte der zu

konzipierenden Aufgaben zur Modellbildung ein dreiteiliges Vorgehen im Rahmen einer Konzipierungs-, Evaluierungs- und Optimierungsphase mit erneuter Evaluierung (Abb. 11).

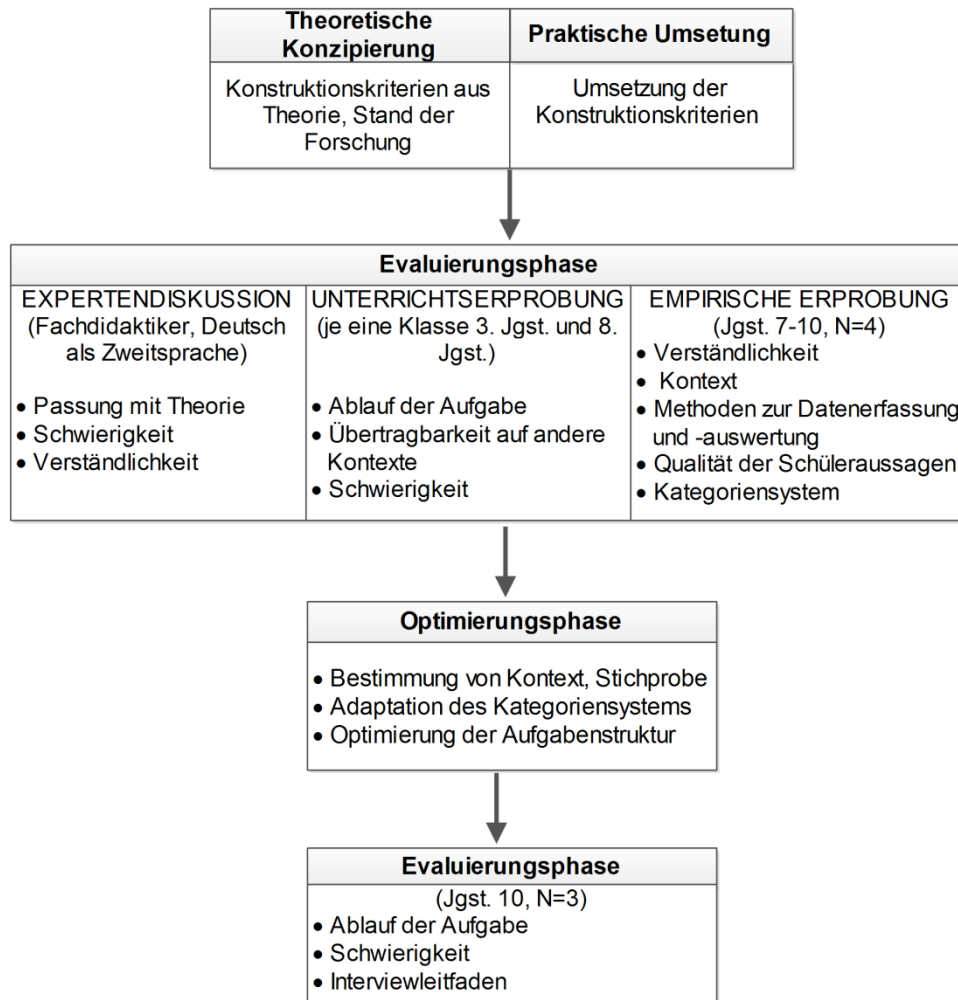


Abb. 11: Operationalisierung der Modellbildung als Hands-On-Aufgabenstruktur in den drei Phasen der Konzipierung, Evaluierung und Optimierung.

In der Konzipierungsphase wurden aus der Theorie und dem Stand der Forschung grundlegende Kriterien für die Konstruktion einer Struktur für Hands-On-Aufgaben zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung abgeleitet und praktisch umgesetzt (Kapitel 3.1.1, 3.1.2). Im Rahmen der folgenden Evaluierungsphase bewerteten zunächst Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Fachdidaktik Biologie an der Humboldt-Universität zu Berlin und der Freien Universität die Passung der Aufgabenstruktur mit der zugrundeliegenden Theorie sowie die allgemeine Schwierigkeit. Eine Expertin auf dem Gebiet Deutsch als Zweitsprache prüfte die sprachliche Qualität und Verständlichkeit der Fragen und Instruktionen. Anschließend wurde der Ablauf der Aufgabenstruktur im

Rahmen einer Unterrichtsstunde in je einer dritten und achten Klasse evaluiert (Kapitel 3.2). Als dritter Bestandteil der Evaluierungsphase erfolgte eine empirische Erprobung mit vier Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen sieben bis zehn (Kapitel 3.3). Auf Grundlage der Ergebnisse wurden der Kontext und die Stichprobe für die Hauptuntersuchung festgelegt sowie die Aufgabenstruktur und das Kategoriensystem mit Blick auf die Zielstellung optimiert. Im letzten Schritt erfolgte eine abschließende Evaluierung für die Hauptuntersuchung mit drei Zehntklässlern.

3.1.1 Theoretische Konzeption

Der Fokus der Untersuchung liegt auf den Prozessen der Erkenntnisgewinnung mit Modellen bei Schülerinnen und Schülern. Daher sollten die Probandinnen und Probanden ihre Modelle nicht für den Versuchsleiter „basteln“, sondern zur Unterstützung individueller Denkprozesse und deren Kommunikation konstruieren. Bei der Auswahl des Kontextes sollte dementsprechend beachtet werden, dass keine prominenten Modelle zugrundeliegen, die einen reinen Nachbau ohne Erkenntnisgewinnung bewirken könnten. Auf diese Weise können Vorstellungen über Modelle als wichtige Denkwerkzeuge und über den Prozess der Erkenntnisgewinnung in der Wissenschaft aktiviert werden (Carey & Smith, 1993; Schwarz et al., 2009). Das kann durch die Präsentation eines interessanten Phänomens erleichtert werden, das dazu anregt, Fragen zu stellen und anschließend Vermutungen mithilfe der Modellbildung zu untersuchen (Lehrer & Schauble, 2006; Berland & Reiser, 2009). Viele Autoren beschreiben einen solchen Stimulus als wichtigen Initiator für den Modellbildungsprozess (z. B. Schwarz & Gwekwerere, 2007; Schwarz et al., 2009; Louca & Zacharia, 2014). Die Situierung in einen realen Kontext unterstützt die Motivation während der Modellbildung (Brown et al., 1989; Baxter & Shavelson, 1994). Fleige et al. (2012) empfehlen für eine erfolgreiche modellbasierte Erkenntnisgewinnung leicht zugängliche Themen und Krell (2013) die Nutzung leicht zugänglicher Modelle.

Hinsichtlich der Durchführbarkeit im Schulkontext ergeben sich zwei weitere praktische Kriterien. Die Modellkonstruktion sollte mit Alltagsmaterialien möglich sein, um die Materialkosten gering zu halten. Der Kontext sollte zur Unterrichtsplanung der Lehrkraft passen, da die Durchführung der Modellbildung zeitaufwendig ist und auf diese Weise die fachlichen und methodischen Unterrichtsfacetten sinnvoll miteinander verbunden werden können.

Die Durchführung einer denk- und prozessorientierten Modellbildung ist für Schülerinnen und Schüler komplex und anspruchsvoll (Sins et al., 2005). Sie benötigen daher Unterstützung bei der Strukturierung und Durchführung verschiedener Tätigkeiten der Modellbildung, wie dem Aktivieren von Vorwissen, dem Generieren von Fragen und Vermutungen sowie dem Testen und folgendem Ändern von Modellen (Schwarz & White, 2005). Das kann beispielsweise mithilfe gestufter Lernhilfen erreicht werden. Wood,

Bruner und Ross prägten 1976 den Begriff *scaffolds* für unterstützende Maßnahmen, die Novizen bei der Durchführung schwieriger Prozesse, wie dem Problemlösen oder der erkenntnisgenerierenden Modellbildung, helfen. Sie sind Voraussetzung dafür, dass bei der modellbasierten Auseinandersetzung zu einem Phänomen das Wissenschaftsverständnis gefördert werden kann (Abraham & Miller, 2008). Besonders die Generierung von Fragen ist für Schülerinnen und Schüler schwierig und für den Prozess der Modellbildung grundlegend. Sie sollte mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam durchgeführt werden, da das Resultat mithilfe von Modellen untersuchbar sein muss (Carey et al., 1989).

Eine konkrete unterstützende Maßnahme ist die Bereitstellung von Informationen zum Phänomen als Voraussetzung für eine erfolgreiche mentale und externe Modellbildung (Mendonca & Justi, 2011). Dabei ist es wichtig, ausschließlich Basiswissen zu vermitteln, um ausreichend Motivation für die Modellkonstruktion zur Untersuchung individueller Vermutungen aufrecht zu erhalten (Halloun, 2006). Trotz solcher unterstützender Angebote ist es wichtig, die Kreativität der Schülerinnen und Schüler möglichst wenig einzuschränken und verschiedene Lösungswege zuzulassen. Auf diese Weise erkennen sie, dass kein Modell endgültig richtig ist und die Wissenschaft mehr ein Prozess des Denkens als die bloße Beschreibung von beobachtbaren Phänomenen ist (Harrison & Treagust, 2000, S.1013).

Während einige Autoren lediglich die praktischen Tätigkeiten der Modellbildung als bedeutend zur Förderung von Modellverständnis beschreiben (z. B. Penner et al., 1997), erachten Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009) dabei angeleitete Reflexionsphasen (*metamodeling conversations*, S. 638) zur Modellbildung als wichtig. Konkret können alternative Modelle zum Phänomen präsentiert und diskutiert werden. Ziele dabei sind die Verdeutlichung des subjektiven und vorläufigen Charakters alternativer Modelle sowie die Grenzen selbst konstruierter Modelle, woraufhin Änderungen vollzogen werden (Harrison & Treagust, 2000; Schwarz et al., 2009). Die Bereitstellung neuer Informationen zum Phänomen kann Vorstellungen und Handlungen zur Teilkompetenz *Ändern von Modellen* aktivieren (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Eine Gegenüberstellung der Modellbildungsprozesse der Schülerinnen und Schüler mit Beispielen aus der Wissenschaft kann als verknüpfende Erfahrung eine Brücke zwischen der wissenschaftlichen Modellbildung und dem Wissenstand der Schülerinnen und Schüler sein (Jackson et al., 1994). Die aus der Theorie hergeleiteten Kriterien zur Konstruktion von Hands-On-Aufgaben zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung werden in Tab. 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Leitlinien zur Konzipierung von Hands-On-Aufgaben mit dem Ziel der erkenntnisgenerierenden Modellbildung.

Leitlinien zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung	Ziel
ALLGEMEINE HINWEISE	
Situierung in einen realen Kontext (Brown et al., 1989; Baxter & Shavelson, 1994)	Motivation zum Modellbildungsprozess
leicht zugängliche Themen (Fleige et al., 2012), leicht zugängliche Modelle (Krell, 2013)	Erkenntnisgenerierende Modellbildung
zulassen verschiedener Modellbildungsprozesse und alternativer Modellkonstruktionen (Harrison & Treagust, 2000)	Verständnis über alternative Modelle als individuelle Denkwerkzeuge
UNTERSTÜTZUNG PRAKTISCHER TÄTIGKEITEN	
Präsentation eines interessanten Phänomens (Lehrer & Schauble, 2006; Berland & Reiser, 2009)	Modellbildungsprozess zur Untersuchung individueller Fragen und Vermutungen
Maßnahmen zur Strukturierung und Durchführung der Modellbildung (Sins et al., 2005), z. B.: gestufte Lernhilfen	<ul style="list-style-type: none"> • Generieren von Fragen und Vermutungen • Testen und Ändern von Modellen • Aktivierung von Vorwissen
Bereitstellung von Basisinformationen zum Phänomen (Halloun, 2006; Mendonca & Justi, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Anleiten einer mentalen/externalen Modellbildung • Einflusskontrolle von Fachwissen
Präsentation neuer Informationen zum Phänomen (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010)	Ändern aufgrund neuer Erkenntnisse
UNTERSTÜTZUNG WISSENSCHAFTLICHER REFLEXIONEN	
Präsentation alternativer Modelle zum Phänomen (Harrison & Treagust, 2000; Schwarz et al., 2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Erkennen des subjektiven Charakters von Modellen • Ideen zum Ändern eigener Modelle
Beispiele wissenschaftlicher Modellbildungsprozesse	Verknüpfende Erfahrung individuellen Wissens mit wissenschaftlicher Modellbildung

3.1.2 Praktische Umsetzung

Die für das Projekt entwickelte Hands-On-Aufgabe setzt sich aus verschiedenen mündlich oder schriftlich präsentierten Teilaufgaben und Reflexionsangeboten zusammen, basierend auf den theoretischen Leitlinien des vorhergehenden Kapitels. Diese strukturieren und unterstützen den Prozess der Modellbildung. Abb. 12 gibt einen Überblick über die finale Hands-On-Struktur zur Anleitung einer erkenntnisgenerierenden Modellbildung.

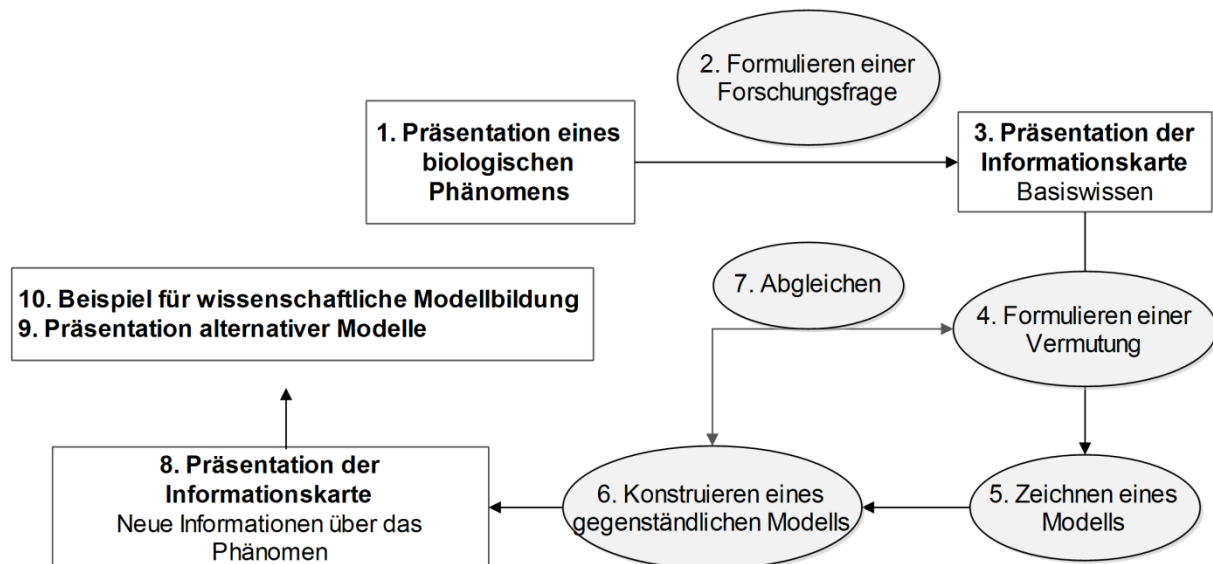


Abb. 12: Struktur einer Hands-On-Aufgabe zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (in den Rechtecken: Aktionskarten und Reflexionsangebote, in den Kreisen: Schüleraktivitäten).

Die Struktur der Hands-On-Aufgabe wird im Folgenden am Kontext der Hauptuntersuchung ‚Entstehung eines Herzinfarkts durch die Arteriosklerose‘ erklärt. Hierzu liegt auch ein Unterrichtskonzept für die Grundschule mit dem Titel „Das komplexe Phänomen ‚Herzinfarkt‘ zeichnen, bauen und verstehen“ vor (Orsenne, 2013). Zu Beginn der Hands-On-Aufgabe notieren die Schülerinnen und Schüler zu folgendem Szenario eigene Fragen, die sie mithilfe der Modellbildung untersuchen werden (Schritte 1,2):

„Etwa 800 Menschen werden in Deutschland jeden Tag mit einem Herzinfarkt in ein Krankenhaus eingeliefert. Dabei handelt es sich um ein lebensbedrohliches Ereignis infolge einer Erkrankung des Herzens.“

Das zur Hypothesengenerierung und Untersuchungsplanung notwendige Basiswissen zum Phänomen wird anschließend auf einer Informationskarte präsentiert (Schritt 3):

„Ein Herzinfarkt tritt infolge der Erkrankung *Arteriosklerose* in den Blutgefäßen (Herzkranzgefäße) am Herzmuskel auf. Dabei lagern sich in der Innenwand der Blutgefäße beispielsweise Fette aus der Nahrung oder Schadstoffe vom Rauchen ab. Dadurch kann das Blut nicht mehr gleichmäßig und schnell fließen. Bei einem Herzinfarkt verschließen diese Ablagerungen die Blutgefäße, wodurch ein Teil des Herzmuskels nicht mehr mit sauerstoffreichem Blut versorgt wird und abstirbt.“

Infolge notieren die Schülerinnen und Schüler eigene Vermutungen unter die Frage (Schritt 4). Danach erhalten sie die Aufgabe, ihre mentalen Modelle in Form einer Zeichnung zu externalisieren: „Denke dir ein Modell aus, fertige eine Zeichnung an und

beschrifte sie!" (Schritt 5). Das Zeichnen ist eine günstige Basis für die folgende Modellbildung (Ainsworth, 2006, Kapitel 2.2.1), zu der eine große Bandbreite konkreter Alltagsmaterialien präsentiert werden: „Baue dein Modell mit den Materialien aus der Kiste!" (Schritt 6). Für die Materialauswahl wurden im Vorfeld nach dem Zufallsprinzip 20 Menschen im Alter von 11 bis 53 ausgewählt und nach ihren Konstruktionsideen befragt. Bei der Bearbeitung der Hands-On-Aufgabe wurde strengstens darauf geachtet, die Materialien erst nach dem Zeichnen zu präsentieren, um die Kreativität der Schülerinnen und Schüler nicht zu beeinflussen. Nach der Modellkonstruktion setzen sich die Probandinnen und Probanden mithilfe ihres Modells gemäß der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung mit ihrer Vermutung auseinander: „Beschreibe, was du über deine Vermutung sagen kannst, die du am Anfang formuliert hast!" (Schritt 7). Zur Thematisierung der Teilkompetenz *Ändern von Modellen* (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) werden die Schülerinnen und Schüler mit neuen Informationen zum Phänomen konfrontiert (Schritt 8):

„Nach einem Herzinfarkt muss das betroffene Blutgefäß so schnell wie möglich wieder für den Blutfluss frei gemacht werden. Eine Möglichkeit besteht darin, ein dünnes Röhrchen in das Blutgefäß einzuführen. Ein am Röhrchen angebrachter Ballon sorgt für die Dehnung der verengten Blutgefäßstelle."

Die konkrete Aufgabe hierzu lautet: „Erkläre, wie du dein Modell verändern müsstest, um die neuen Informationen zu berücksichtigen". Darauf folgen konkrete Reflexionsangebote, zunächst in Form von Abbildungen zu alternativen Modellen aus dem schul- und wissenschaftlichen Kontext (Schritt 9):

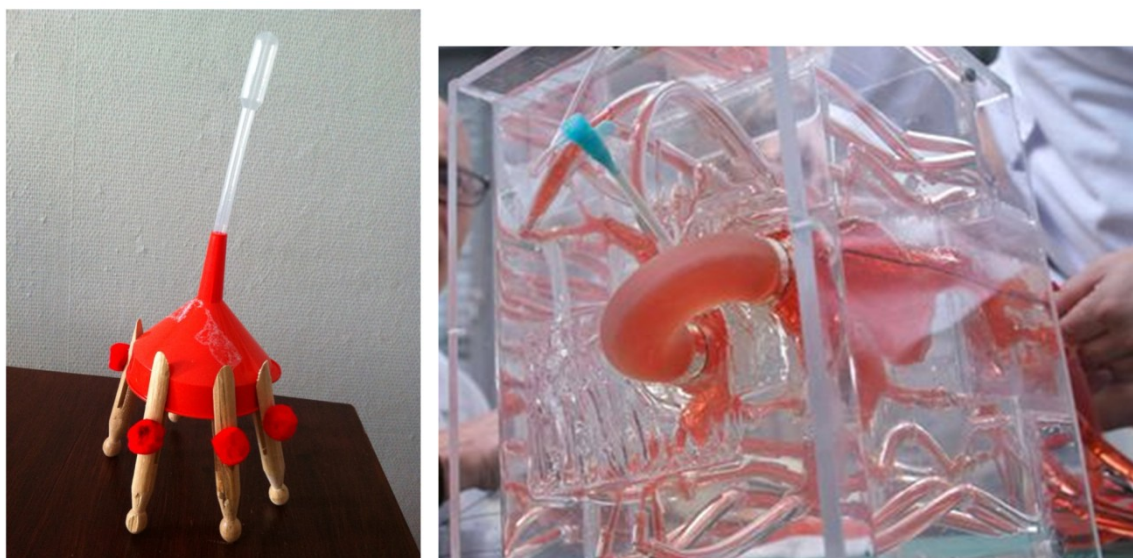


Abb. 13: Reflexionsangebote in Form von Modelbeispielen aus dem schul- und wissenschaftlichen Kontext.

Anschließend wird der Prozess wissenschaftlicher Modellbildung am Beispiel des virtuellen Herzens vorgestellt (Schritt 10, Anhang S. 153). Das soll den Probandinnen und Probanden die Möglichkeit geben, ihre durch die Tätigkeiten und Reflexionen zur wissenschaftlichen Modellbildung aktivierten Vorstellungen zu situieren und zu konkretisieren.

Die Lösung der Hands-On-Aufgabe erfolgte in Einzelarbeit und ohne Zeitvorgabe, um die aktivierten Schülervorstellungen nach den Tätigkeiten und Reflexionsangeboten zur Modellbildung ohne Gruppeneinflüsse und Zeitdruck untersuchen zu können. Die Sozialform Gruppenarbeit wirkt sich auf die kognitive und motorische Performanz einzelner Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer aus (Carter & Jones, 1994).

3.2 Expertendiskussion und Unterrichtserprobung

Die Struktur der Hands-On-Aufgabe zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 3.1.2) und die verwendeten Interviewfragen (Kapitel 3.3.3) wurden zunächst im Rahmen mehrerer Diskussionsrunden durch sechs Expertinnen und Experten zur Thematik Modelle hinsichtlich der Passung mit dem Prozess der Modellbildung (Justi & Gilbert, 2002) sowie den einzelnen Teilkompetenzen von Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) diskutiert und optimiert. Hilfreich waren dabei auch die Leitlinien zur Konzipierung von Hands-On-Aufgaben zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Tab. 6). Die Expertinnen und Experten forschten zu dem Zeitpunkt mit unterschiedlichen inhaltlichen, theoretischen und methodischen Schwerpunkten im Bereich der Modellkompetenz. Bewertet wurde beispielsweise, ob zum Kontext neue Erkenntnisse präsentiert werden können (TK *Ändern von Modellen*) oder die Konstruktion verschiedenster Modelle möglich ist (TK *Alternative Modelle*), die hinsichtlich ihrer Funktionen überprüft werden können (TK *Testen von Modellen*). Optimierungen der Aufgabenstruktur betrafen vor allem die Möglichkeit eines hypothetisch-deduktiven Modellbildungsprozesses mit gleichzeitig unterstützenden und strukturierenden Maßnahmen. Als Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker der Biologie diskutierte die Expertengruppe außerdem die Schwierigkeit der Aufgaben und Kontexte für die gewählte Stichprobe. Zusätzlich prüfte und optimierte eine Expertin aus dem Bereich Deutsch als Zweitsprache die sprachliche Qualität der Fragen und Instruktionen sowie deren Verständlichkeit für die Zielgruppe nach Rösch (2003).

Im Rahmen einer Unterrichtserprobung wurde der Ablauf der Hands-On-Struktur mit einer größeren Stichprobe evaluiert sowie die Übertragung auf andere Kontexte und perspektivisch die Möglichkeit des schulischen Einsatzes geprüft. Als Schultyp wurde zunächst die Grundschule gewählt (3. Jahrgangsstufe), um das potentielle Fähigkeitsspektrum zur Modellbildung, von den jüngsten Jahrgangsstufen ausgehend, einzugrenzen. Konkret wurde die entwickelte Struktur in Zusammenarbeit mit zwei

Lehrerinnen in einen Unterrichtsentwurf zur Thematik ‚Struktur und Funktion einzelner Blutbestandteile‘ angepasst und praktisch durch die Fachlehrerin erprobt (Orsenne, Herget & Wieder, 2013). Der gewählte Kontext erfüllte zum einen die Kriterien zur Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 3.1.1) und passte zum anderen zur Unterrichtsplanung der Lehrkraft.

Als Ergebnis erwies sich die Hands-On-Aufgabenstruktur (Kapitel 3.1.2) als eine geeignete Vorlage für die Unterrichtsplanung zur Modellbildung. Sie kann auf verschiedene Kontexte übertragen werden. Die Grundschülerinnen und -schüler arbeiteten 90 Minuten lang motiviert zur medialen Modellbildung. Sie konstruierten ihre Modelle zum Zweck der Veranschaulichung. Gleichzeitig konnte bestätigt werden, dass Kinder im Grundschulalter keine Erfahrung mit der Arbeitsweise der Modellbildung besitzen und viele Hilfestellungen benötigen (Lehrer & Schauble, 2006). Der erkenntnisgenerierende Modellbildungsprozess stellte zu hohe Anforderungen an die gewählte Stichprobe. Deshalb wurde das Unterrichtskonzept noch einmal mit einer achten Klasse erprobt. Für diese Stichprobe erwies sich der Kontext ‚Struktur und Funktion einzelner Blutbestandteile‘ als zu leicht, um einen hypothetisch-deduktiven Modellbildungsprozess durchführen zu können. Den Schülerinnen und Schülern fiel es schwer, eigene Fragen und Vermutungen zu generieren, die mithilfe der Modellbildung untersucht werden konnten. Aus diesen Gründen wurden für die empirische Erprobung neue Kontexte herausgearbeitet und als Stichprobe die Sekundarstufe I festgelegt. Eine Zusammenfassung über die verwendeten Kontexte des vorliegenden Projekts stellt Tab. 7 dar.

Tab. 7: Zusammenfassung über die verwendeten Kontexte im Projekt.

	1. Unterrichtserprobung (Jgst. 3: n = 25, Jgst. 8: n = 29)	2. Empirische Erprobung (Jgst. 7-10, N=4)	3. Hauptstudie (Jgst. 10, N=12)
Kontext	Struktur und Funktion einzelner Blutbestandteile	<ul style="list-style-type: none"> • Funktion der menschlichen Wirbelsäule • Funktion der Schwimmblase bei Fischen 	Entstehung eines Herzinfarkts durch Arteriosklerose
Begründung für Kontext	<ul style="list-style-type: none"> • erfüllt Kriterien zur Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung • passt zur Unterrichtsplanung der Lehrkraft 	<ul style="list-style-type: none"> • erfüllen Kriterien zur Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung • 2 Kontexte zur umfangreichen Erfassung von Kenntnissen und Fähigkeiten zur Modellkompetenz • laut RLP fachliche Grundkenntnisse zu Kontexten ab 7. Jgst. 	<ul style="list-style-type: none"> • erfüllt Kriterien zur Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung • 1 Kontext zur Minimierung des Aufgabeneffektes und Vergleichbarkeit der Ergebnisse
Ergebnis	<ul style="list-style-type: none"> • 3. Jgst: erkenntnisgenerierende Modellbildung zu schwer • 8. Jgst.: Kontext zu leicht für hypothetisch-deduktiven Modellbildungsprozess 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveau III nur in 10. Jgst., hier aber Kontexte zu leicht für hypothetisch-deduktiven Modellbildungsprozess • 2 Kontexte weisen unterschiedliche Schwierigkeiten auf 	Kontext für hypothetisch-deduktives Vorgehen geeignet

3.3 Empirische Erprobung

Die empirische Erprobung erfolgte, um Verständnisprobleme der Aufgabenstellungen und Instruktionen aufzudecken, die Einsatzfähigkeit der verwendeten Materialien zu überprüfen und die Adäquatheit der Methoden zur Datenerfassung und -auswertung für die Untersuchungsziele zu überprüfen. Die Datenerhebung erfolgte an einem Berliner Gymnasium.

3.3.1 Stichprobe

Bei der Wahl der Stichprobe muss beachtet werden, dass die Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung große Anforderungen an Schülerinnen und Schüler stellt (Hogan & Thomas, 2001; Lehrer & Schauble, 2006). Außerdem kann der gewählte Kontext für die Modellbildung schwierigkeiterzeugend sein (Sins et al., 2005). Drittens setzen qualitative Erhebungsmethoden gewisse sprachliche Fähigkeiten voraus (Veenman, 2005). Aus diesen Gründen und aufgrund der Ergebnisse der Unterrichtserprobungen (Kapitel 3.2) erfolgte die empirische Erprobung mit

Gymnasialschülerinnen und -schülern der Sekundarstufe I. Auch die Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss beschreiben das Modellieren als bedeutsamen Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung für die Sekundarstufe I (KMK, 2005, S. 11). Konkret lösten eine Schülerin der Jahrgangsstufe sieben und jeweils ein Schüler der Jahrgangsstufen acht bis zehn die modellbildenden Hands-On-Aufgaben ($n = 4$). Die konkrete Bestimmung von Probandinnen und Probanden sollte auf bewussten Repräsentativitätsüberlegungen beruhen, um möglichst „typische Vertreter einer Klasse“ zu generieren (Bortz & Döring, 2006, S. 336; Mayring, 2010). Entscheidende Kriterien für die Bestimmung aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Untersuchung waren ein mittleres schulisches Leistungsniveau (Schulnote), Kommunikationsfreude (Einschätzung durch Lehrkraft), der Wille zur Teilnahme an der Untersuchung verbunden mit dem Vorliegen einer schriftlichen Einverständniserklärung zur Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten durch die Erziehungsberechtigten.

3.3.2 Kontexte

Verschiedene Kontexte weisen unterschiedliche schwierigkeiterzeugende Merkmale auf, die sich auf die Kompetenzausprägungen auswirken (Prenzel, Häußler, Rost & Senkbeil, 2002; Schecker & Parchmann, 2006). Krell (2013, S. 185) schließt aus seinen Ergebnissen, dass unterschiedliche Modelle jeweils einen spezifischen *contextual support* für das Verständnis der modellbildenden Erkenntnisgewinnung transportieren. Daher löste zur umfangreichen Erfassung von Kenntnissen und Fähigkeiten zu Modellen und zur Modellbildung in der empirischen Erprobung jede Probandin und jeder Proband jeweils zwei Hands-On-Aufgaben zu den Kontexten ‘Funktionsweise der menschlichen Wirbelsäule’ und der ‘Schwimmblyse bei Fischen’ (Anhänge 5 und 6). Diese Kontexte wurden aufgrund ihrer Zugänglichkeit auch für die unteren Jahrgangsstufen gewählt (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin, 2006). Desweiteren erfüllen sie die Kriterien zur Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 3.1.1, Tab. 7). Zur Funktionsweise der menschlichen Wirbelsäule wurde für die Jahrgangsstufen sieben und acht ein auf der Struktur der Hands-On-Aufgabe zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 3.1.2) basierendes Unterrichtskonzept entwickelt (Orsenne & Upmeier zu Belzen, 2012). Die Phänomenbeschreibung zum Kontext Wirbelsäule lautet wie folgt:

„Die menschliche Wirbelsäule trägt das gesamte Körpergewicht eines Menschen. Gleichzeitig ist sie so biegsam, dass wir Menschen unseren Körper in alle Richtungen beugen können.“

Die Schülerinnen und Schüler führten daraufhin Modellbildungsprozesse zur Frage der Stabilität bei gleichzeitiger Flexibilität durch. Abb. 14 zeigt ein Modell in Form eines

Gelenkbusses mit der Vorstellung über Bandscheiben als Lenkelemente und den Wirbelknochen als Buskorpus.

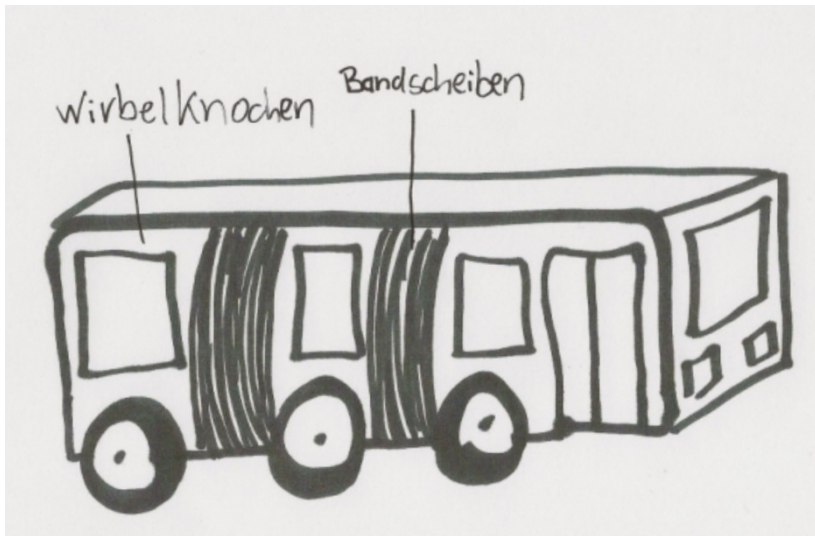


Abb. 14: Modell der menschlichen Wirbelsäule in Form eines Gelenkbusses mit Bandscheiben als bewegliche Bestandteile und den Wirbelknochen als Buskorpus.

Bezüglich der Phänomenbeschreibung zur Funktionsweise der Schwimmblase („Fische sinken nicht wie ein Stein auf den Boden. Viele Fische können sogar ohne Flossenbewegungen im Wasser schweben oder ihre Schwimmtiefe steuern“) standen für den gegenständlichen Modellbildungsprozess beispielsweise Luftballons, Styroporkugel, Pipette oder Spritze zur Verfügung:



Abb. 15: Materialien für den Modellbildungsprozess zur Funktionsweise der Schwimmblase bei Fischen.

3.3.3 Datenerfassung

In der Mathematikdidaktik wurde in den neunziger Jahren beschrieben, dass sich kognitive Prozesse während der Durchführung einer Handlung mit einer Methodenkombination aus Lautem Denken, Interview und Videoaufzeichnung umfangreich abbilden lassen (Randhawa, 1994). Wilson und Clarke (2004) prägten dafür zehn Jahre später den Begriff *Multi-Method Interview (MMI)*. Sie nutzten die Methode zur Erfassung von Metakognition beim Lösen mathematischer Probleme¹². Die allgemein gebräuchliche Bezeichnung für die Nutzung verschiedener Methoden zur Datenerfassung ist die *methodische Triangulation* (Denzin, 1970). Viele Forscher versprechen sich durch deren Einsatz ein reichhaltiges, valides und reliables Bild des Untersuchungsgegenstandes (Anderson, 1983; Bogdan & Biken, 1992).

In der vorliegenden Untersuchung wurden als eine Komponente des Multi-Method Interviews Einzelinterviews mit informationsermittelnder Funktion durchgeführt (van Koolwijk, 1974), um individuelle Vorstellungen unbeeinflusst von Gruppeneinflüssen zu erfassen. Die Interviews erfolgten jeweils vor und nach den Tätigkeiten der Modellbildung zur gezielten Erfassung von Schülervorstellungen zu den fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz (Abb. 16).

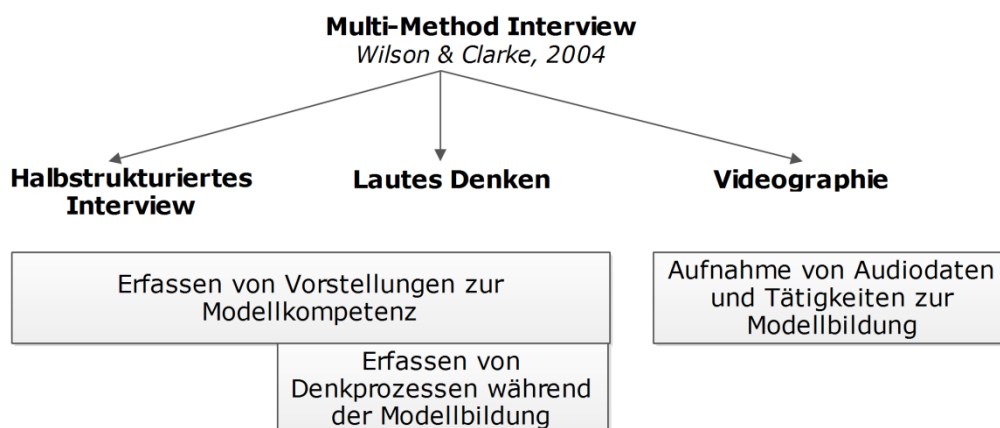


Abb. 16: Komponenten des Multi-Method Interviews nach Wilson & Clarke (2004) mit Zielstellungen für die Untersuchung.

Während der konkreten Modellbildungsprozesse wurden die Probandinnen und Probanden zum Lauten Denken aufgefordert, um die Denkprozesse während der Handlungen zu erfassen. Die dritte Komponente des Multi-Method Interviews ist die Videographie. Sie diente zur Aufnahme der Audiodaten und ermöglichte visuelle Rückschlüsse auf die

¹² Metakognition bezeichnet das Bewusstsein von Individuen über das eigene Denken sowie dessen Evaluation und Regulation (Wilson & Clarke, 2004, S. 26).

Bezüge der Artikulationen der Probandinnen und Probanden, beispielsweise beim Umgang mit den Materialien während der Modellbildungsphasen. Der Einsatz eines zusätzlichen Diktiergerätes steigerte die Tonqualität, um das Transkribieren zu erleichtern.

Interviewmethode

Offene und durch einen Leitfaden strukturierte Einzelinterviews mit dialogischer Kommunikationsstruktur und unterschiedlichen Interventionsmodi, wie es die Hands-On-Aufgabenstruktur vorsieht, erlauben es, Schülervorstellungen in ihrer Komplexität und Qualität zu erfassen (Mayring, 1990, S. 45). Schriftlichen Beschreibungen fehlt oft die Klarheit, was den Bewertungsprozess erschwert (Baxter et al., 1992). Bei der Interviewmethode muss jedoch beachtet werden, dass Interviews immer beeinflussend auf die Probandinnen und Probanden wirken. „Es geht darum, diesen Einfluss kompetent, reflektiert, kontrolliert und auf eine der Interviewform und dem Forschungsgegenstand angemessenen Weise zu gestalten“ (Helfferich, 2005, S. 10). Das bedeutet konkret, dass die Interviewresultate abhängig von den subjektiven Besonderheiten der Befragten, der Interviewer und der Befragungssituationen sind und Begleitumstände methodisch kontrolliert werden sollen (Helfferich, 2005, S. 139). In der vorliegenden Untersuchung wurden daher Einzelinterviews mit informationsermittelnder Funktion durchgeführt (van Koolwijk, 1974), um individuelle Vorstellungen unbeeinflusst von Gruppeneinflüssen zu erfassen. Die Interviewerin trainierte im Rahmen von Probeinterviews die Kontrolle des eigenen verbalen und nonverbalen Verhaltens, um die Antworten der Befragten nicht durch persönliche Gestiken, Mimiken oder Bewertungen zu beeinflussen.

Ein halbstrukturierter Leitfaden unterstützte, dass jede Probandin und jeder Proband mit im Wortlaut und in der groben Abfolge gleichen Interviewfragen konfrontiert wurde, um die Durchführungsobjektivität sowie Vergleichbarkeit der Interviews zu wahren (Bortz & Döring, 2006; Mayring, 2010). Die Formulierung der Fragen basiert auf den Untersuchungen von Grosslight und Kolleginnen und Kollegen (1991) und Trier und Team (2014) sowie auf den einzelnen Teilkompetenzen von Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Die Fragen sind offen gestellt, um die Versuchsperson zum Reden zu animieren (Frommann, 2005). Der Leitfaden enthält neben den Kernfragen auch Nachfragen und Sprechimpulse, um vertieft Schülervorstellungen erfassen zu können. Der vollständige Interviewleitfaden der Untersuchung ist in Anhang 4 (S. 154) aufgeführt. Er wurde zum einen durch Expertinnen und Experten hinsichtlich der Passung mit der genannten Theorie diskutiert und optimiert (Kapitel 3.2). Nach seiner Konstruktion erfolgte eine Überarbeitung mithilfe der Kriterien für strukturierte Interviews nach Bouchard (1976, zitiert in Bortz & Döring, 1996, S. 245). Das Ziel dabei war, dass der Leitfaden zentrale Fragen ohne Wiederholungen enthält, die konkret,

einfach, eindeutig und positiv formuliert sind. Bei der Durchführung der Interviews wurde die Fragenreihenfolge situationsbedingt variiert, um Wiederholungen zu vermeiden. Abb. 17 stellt den Interviewablauf während der gesamten Datenerhebung dar und verdeutlicht eine grobe Gliederung in Intervieweinführung, Fragen während der Bearbeitung der Hands-On-Aufgabe und Interviewabschluss.

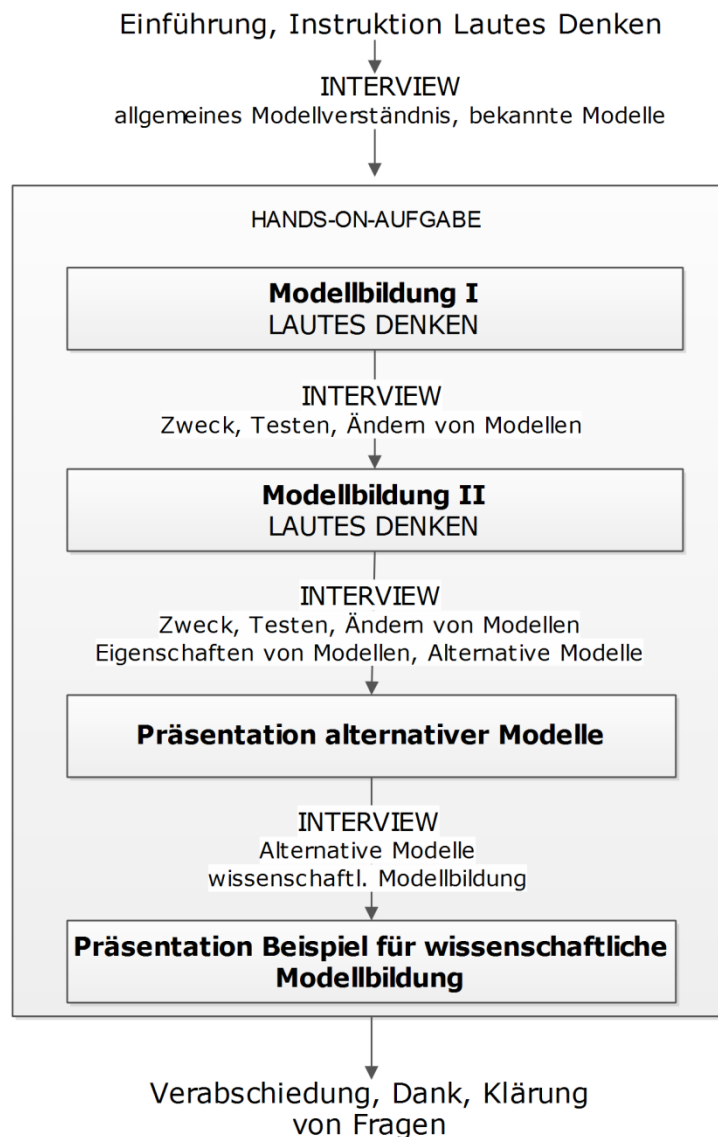


Abb. 17: Ablauf der Datenerfassung.

In der Einführung zum Interview begrüßte die Interviewerin die Probandinnen und Probanden, stellte sich und das Thema kurz vor, erläuterte den Ablauf sowie allgemeine Regeln und bat um Erlaubnis zur Videografie. Dabei wurde den Befragten Anonymität und Bewertungsfreiheit zugesichert und eine entspannte Gesprächsatmosphäre geschaffen (Anhang S. 151). Die Einstiegsfragen sind als „Eisbrecherfragen“ eher allgemein und offen formuliert (Bortz & Döring, 2006, S. 244). Sie zielen auf das allgemeine Modellverständnis der Probanden sowie bereits bekannte Modellbeispiele. Eine

Beispielfrage ist: „Stell Dir vor, jemand weiß nicht, was ein Modell ist. Wie würdest du es ihm beschreiben?“. Jeweils nach den zwei Modellbildungsprozessen wurden mit Bezug auf die konstruierten Schülermodelle detaillierter Fragen zu den einzelnen Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* gestellt (Tab. 8).

Tab. 8: Interviewfragen zu den Teilkompetenzen von Modellkompetenz (nach Grosslight et al., 1991).

	Interviewfragen
Eigenschaften von Modellen	Begründe, inwiefern dein Modell so aussieht wie ein echter Herzinfarkt!
Alternative Modelle	Beschreibe, ob es zum Herzinfarkt verschiedene Modelle geben kann!
Zweck von Modellen	Beschreibe, wozu du dein Modell einsetzen kannst!
Testen von Modellen	Erkläre Schritt für Schritt, wie du überprüfen kannst, ob dein Modell brauchbar ist!
Ändern von Modellen	Stell dir vor, dein Modell ist nicht brauchbar (ggf. konkret benennen). Beschreibe, was du dann machen würdest!

Nach Vosniadou (2002) besitzen Fragen dieser Art eine generative Funktion, da sie neue Vorstellungen, Ideen und Vorwissen zum Prozess der Modellbildung aktivieren können, ohne ‚richtige‘ Antworten vorzugeben. Eine mögliche Folge sind Reflexionsprozesse zum Prozess der Modellbildung, die Schön (1987) als *reflection-in-action* bezeichnet.

Nach dem zweiten Modellbildungsprozess wurden zusätzlich die vorhandenen Schülervorstellungen zu den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* ergründet (Tab. 8). Die darauffolgende Frage zielte auf den Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung: „Du hast das Modell gebaut. Wie gehen wohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor?“.

Am Ende jeder Erhebung wurden die Probandinnen und Probanden nach für sie schwierigen und interessanten Aspekten der Hands-On-Aufgabe befragt, nach der Bekanntheit der gewählten Kontexte und letztlich nach ihrer Vertrautheit mit der Durchführung der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung. Dann bedankte sich die Interviewerin bei den Probandinnen und Probanden und klärte Fragen. Zu jedem Interview wurde ein Protokoll mit Störungen, Besonderheiten und Auffälligkeiten angefertigt.

Lautes Denken

Während der konkreten modellbildenden Tätigkeiten wurden die Schülervorstellungen und kognitiven Prozesse zur Modellbildung prozessorientiert mit der Methode des Lauten

Denkens erfasst (Bannert, 2007).¹³ Bei der Durchführung einer Handlung können Probandinnen und Probanden Kognitionen am besten artikulieren (Hamilton, 1994). Dazu wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, während der Modellbildung unmittelbar laut auszusprechen, was ihnen durch den Kopf geht (Ericsson & Simon, 1993). Auf diese Weise werden Inhalte aus dem Arbeitsgedächtnis direkt verbalisiert, ohne dass Gedanken reflektiert, interpretiert oder strukturiert werden (Knoblich & Ölinger, 2006). Der Unterschied zum Interview als retrospektive Verbalisierungsmethode besteht darin, dass Gedanken möglichst wenig rekonstruiert werden und dadurch Vergessens- und Inferenzprozesse als potenzielle Fehlerquellen entfallen (Bannert, 2007). Weidle und Wagner (1994, S. 83) bewerten das Laute Denken als eine valide Methode, die „am ehesten und vollständigsten die Möglichkeit (bietet), die im Individuum ablaufenden Kognitionen zu erfassen.“

Für einen erfolgreichen Ablauf der Methode erfolgte im Vorfeld eine mündliche, standardisierte Instruktion, bei der das Laute Denken erläutert und an Beispielen geübt wurde (Hamilton, 1994). Basis hierfür waren die Vorgaben von Ericsson und Simon (1993) und deren praktische Umsetzung durch Patzke (2010, Anhang S. 152). Um die Abfolge und die Inhalte der individuellen Denkprozesse im Prozess der Modellbildung nicht durch die Interviewphasen oder die Versuchsleitung zu beeinflussen, wurden die Interviewfragen erst gestellt, wenn die Handlungen und Äußerungen zur Modellbildung abgeschlossen waren. Hierzu benannte die Versuchsleitung ausdrücklich den Beginn und das Ende der Phasen zur selbstständigen Modellbildung, erinnerte an die anfänglichen Instruktionen zum Lauten Denken und vermied ein Agieren ihrerseits. Lediglich bei langen Gesprächspausen wurden die Schülerinnen und Schüler zum lauten Aussprechen der Gedanken aufgefordert: „Denke bitte laut“ oder „Sprich weiter“ (Ericsson & Simon, 1993, S. 256). Abb. 17 stellt die Abgrenzung des Lauten Denkens im Prozess der Modellbildung und Interviewfragen zum Zweck, Testen und Ändern von Modellen im Anschluss der Modellbildung dar. Während des Lauten Denkens wurde außerdem auf eine wertungsfreie und tolerante Atmosphäre geachtet (Bilandzic, 2005). Im Verlauf der gesamten Versuchsdurchführung saß die Leiterin den Probandinnen und Probanden nicht

¹³ Das Laute Denken stammt aus der Denkpsychologie und wurde vor allem durch Duncker (1935) bei der Erforschung von Problemlöseprozessen begründet. Ericsson und Simon (1980) lieferten die theoretische Fundierung dieser Methode mit einem kognitionspsychologischen Modell, das zwischen Kurz- und Langzeitgedächtnis unterscheidet. Heute kommt das Laute Denken in zahlreichen Forschungsfeldern zum Einsatz, wie der Problemlöseforschung (Funke & Spering, 2006), der Unterrichtsforschung (Weidle & Waner, 1994) oder der Medienforschung (Eveland & Dunwoody, 2000). Katja Völzke (2012) nutzte die Methode im Bereich der Biologiedidaktik, um qualitative Daten zum wissenschaftlichen Denken und Wissenschaftsverständnis während des Experimentierens von Schülerinnen und Schülern zu erhalten.

direkt gegenüber. Auch die Kamera wurde unauffällig mithilfe eines Stativs hoch oben positioniert, um die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler möglichst wenig vom Prozess der Modellbildung abzulenken (Abb. 18).

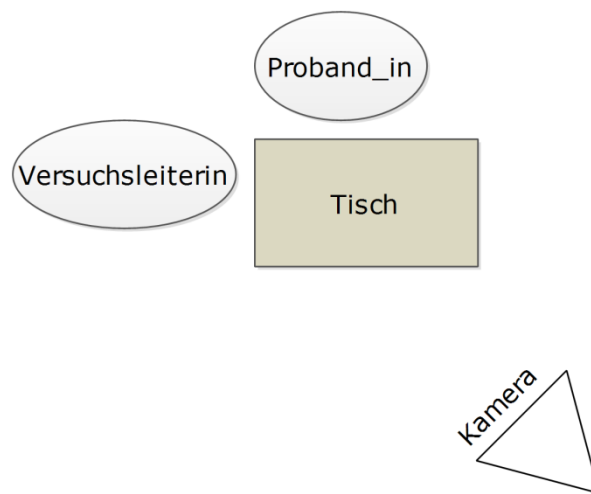


Abb. 18: Standardisiertes Setting zur Fokussierung modellbildender Tätigkeiten auf dem Tisch mit wenig Ablenkung durch die Versuchsleitung oder Kamera.

3.3.4 Datenauswertung

Aufbereitung der Daten

Die Aufbereitung der Videodaten orientiert sich an der von Mayring (2005) dargestellten und durch Gropengießer (2005) adaptierten Vorgehensweise. Im ersten Schritt wurden die Videoaufnahmen mithilfe der Software ‚F4‘ transkribiert, wobei für die Fragestellung inhaltstragende Schüleraussagen und Handlungen in einen Fließtext überführt wurden. Die Software ermöglicht eine Verlangsamung des Abspieltempos, die Steuerung mit einem Fußpedal, einen kurzen Rücksprung bei jeder Pause und zeigt automatisch Zeitmarken und Sprecherwechsel an. Die Wortprotokollierung erfolgte zunächst in originaler Ausdrucksweise der Probandinnen und Probanden, wobei nur der Dialekt bereinigt wurde. Für einen schnelleren Ablauf wurde durchgängig in Kleinschreibung transkribiert (Tab. 9). Hinweise auf die Gesprächssituationen, beispielsweise lange Pausen oder besondere Betonungen, wurden im Transkript ebenso notiert wie sinntragende nicht-sprachliche Vorgänge, beispielsweise grundlegende Handlungen bei der Modellbildung. Leitend für die Transkription waren die Konventionen nach Selting, Barden und Bergmann (1998), die festlegen, wie bestimmte phonetische Merkmale des Mündlichen symbolisch verschriftlicht werden.

Im zweiten Schritt der Datenaufbereitung wurden die Transkripte redigiert, um Pointiertheit, Deutlichkeit und Klarheit der Texte herzustellen. Dazu wurden das Interviewwechselspiel aus Fragen und Antworten kontextabhängig in eigenständige, grammatikalisch geglättete Aussagen der Probandinnen und Probanden transformiert und

Argumentationsketten kapitelweise dargestellt. Für die Fragestellung nebensächliche Äußerungen, Füllwörter und unmittelbare Wiederholungen wurden aussortiert. Wichtig für das gesamte Redigieren ist, die individuelle Sprache der Schülerinnen und Schüler zu erhalten (Gropengießer, 2005). Tab. 9 zeigt an einem Beispiel das transkribierte und redigierte Produkt einer Argumentation zur wissenschaftlichen Modellbildung.

Tab. 9: Transkribierte und redigierte Schüleraussagen zum Prozess wissenschaftlicher Modellbildung.

Transkript	Redigiertes Transkript
<p>I #00:22:36-1# was glaubst du wie wissenschaftler mit modellen arbeiten.</p> <p>S #00:22:51-8# mh: naja also ich kann mir nicht vorstellen, dass wissenschaftler so ne materialien benutzen wie hier. die haben ja auch andere möglichkeiten da ranzukommen. mh sonst denk ich auch, dass die modelle dafür benutzen um zu forschen.</p> <p>I #00:23:09-1# hast du ne idee wie das konkret ablaufen könnte?</p> <p>S #00:23:11-3# naja in irgendwelchen laboren oder so. wo die dann alle da rumstehen ((lacht))</p> <p>I #00:23:20-2# und was machen die dann konkret mit den modellen.</p> <p>S #00:23:23-5# na die modelle würd ich sagen benutzen die um daran das auszuprobieren. was sie rausfinden wollen.</p> <p>I #00:23:29-8# mhm und was probieren sie da konkret aus?</p> <p>S #00:23:35-0# na also wenn wir jetzt bei dem beispiel bleiben, dann gucken die halt was man machen kann um um das irgendwie zu therapieren. um das zu vermeiden. und das probieren sie an dem modell ((lacht)) damit sie es nicht an menschen probieren müssen.</p>	<p>S #00:22:51-8# Ich kann mir nicht vorstellen, dass Wissenschaftler solche Materialien benutzen wie hier. Die haben ja auch andere Möglichkeiten da ranzukommen. Sonst denke ich auch, dass die Modelle dafür benutzen, um zu forschen. In irgendwelchen Laboren oder so - wo die dann alle da rumstehen. ((lacht)) Die Modelle benutzen sie, um daran das auszuprobieren, was sie rausfinden wollen. Wenn wir jetzt bei dem Beispiel bleiben, dann gucken die, was man machen kann, um das irgendwie zu therapieren, um das zu vermeiden. Und das probieren sie an dem Modell ((lacht)), damit sie es nicht an Menschen probieren müssen. (Und wenn es nicht funktioniert, was sie probieren,) suchen sie den Grund dafür und versuchen eine andere Möglichkeit zu finden.</p>

Thematisches Codieren

An die beschriebenen Aufbereitungsprozesse schließen sich nach Mayring (2005) und Gropengießer (2005) die Auswertungsschritte der qualitativen Inhaltsanalyse an, deren Ziel die Konstruktion von Kategorien mit Begründungen ist. Kategorien sind definierte Labels oder Codes aus einem oder mehreren Wörtern. Sie basieren auf vielen verallgemeinerten Vorstellungen, die äquivalente und gemeinsame Merkmale aufweisen (Gropengießer, 2005). Kategorien können induktiv oder deduktiv erzeugt werden. Bei der induktiven Kategorienbildung werden die Auswertungsaspekte aus dem vorliegenden Textmaterial heraus entwickelt, wohingegen deduktiv gebildete Kategorien vorher festgelegte und theoretisch begründete Auswertungsaspekte darstellen (Mayring, 2005). Ein System aus Kategorien ist daher ein Instrument nicht nur zur Identifikation bestimmter Phänomene im Text, sondern eine echte Form der nominalen Messung

(Gigerenzer, 1981, S. 131 f.). Mithilfe eines Kategoriensystems können Schülervorstellungen in ihrer Tiefe und Qualität erkannt, benannt und verstanden werden (Gropengießer, 2005).

Liegt ein solches Kategoriensystem für eine Untersuchung bereits vor, bietet sich das thematische Codieren als Auswertungsmethode an (Hopf & Schmidt, 1993). Beim thematischen Codieren werden in tiefer Auseinandersetzung mit dem redigierten Text dessen Passagen zu verschiedenen Kategorien und Subkategorien geordnet (Kuckartz, 2010). Christel Hopf (1993) hat eine Form des thematischen Codierens ausgearbeitet, die aufgrund ihrer Theorieorientierung und Strukturierung in vier Schritten als explizit, gut ausgearbeitet und methodisch kontrolliert beschrieben wird (Kuckartz, 2010, S. 83). Es bietet sich explizit für Material an, das theoriebezogen mit einem Leitfaden erhoben wurde und daher eine strukturierte Form qualitativer Forschung darstellt (ebd., S. 89 f.). Ziel des thematischen Codierens ist die fallbezogene Überprüfung der Gültigkeit eines Postulats - in der vorliegenden Untersuchung, dass die praktische Modellbildung das Modellverständnis von Schülerinnen und Schüler fördere. Im Folgenden werden die vier Schritte des thematischen Codierens nach Hopf (1993) ausgeführt.

1. Festlegen der Auswertungskategorien

Beim ersten der vier Schritte nach Hopf (1993) werden je nach Untersuchungsbedingungen neue Kategorien zur Auswertung entwickelt oder vorhandene Kategorien an das Datenmaterial der Untersuchung adaptiert (Kuckartz, 2010, S. 84 ff.). Die Nutzung eines Kategoriensystems dient der Objektivität und Vergleichbarkeit der Ergebnisse und der Abschätzung der Reliabilität der Analyse (Mayring, 2010). Für die vorliegende Untersuchung konnte auf das Kategoriensystem zu den fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz von Grünkorn und Team (2014) zurückgegriffen werden¹⁴. Dessen Kategorien wurden induktiv bei der Auswertung von Aufgaben im offenen Antwortformat mit der qualitativen Inhaltsanalyse entwickelt (vgl. Mayring, 2005; Kapitel 2.5.1). Jede Kategorie fasst Antworten zusammen, die eine ähnliche Perspektive hinsichtlich einer spezifischen Teilkompetenz und eines spezifischen Niveaus beschreiben (vgl. Krüger & Riemeier, 2014; Grünkorn, 2014). Ein Ziel der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgabe zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung besteht darin, das Kategoriensystem von Grünkorn und Team (2014) für das Datenmaterial der vorliegenden Untersuchung zu adaptieren, induktiv zu erweitern und mit projektspezifischen Beispielen zu belegen.

¹⁴ Das Kategoriensystem von Grünkorn et al. (2014) erwies sich bereits bei der Auswertung von Protokollen zum Lauten Denken als empirisch erfolgreich (Terzer, 2013, S. 109 f).

2. Codieren des Materials

In das Kategoriensystem werden im zweiten Schritt die einzelnen Passagen der redigierten Texte geordnet. Dabei wurden minimal ganze Sätze (Kodiereinheit) und maximal ganze Antworten der Probandinnen und Probanden (Kontexteinheit) herangezogen (vgl. Mayring, 2010). Die computergestützte Codierung erleichtert die inhaltsanalytische Datenauswertung (Groeben & Rustemeyer, 2002) und unterstützt ein systematisches Vorgehen (Mayring, 2010). In der Untersuchung wurde dazu die Software *MAXQDA* (Version 10) verwendet. Dabei erwies sich als hilfreich, dass Textpassagen und Kategorien für einen schnellen Überblick mithilfe von Farben visualisiert, wichtige Gedanken in Memos festgehalten oder Ergebnisse in Häufigkeiten umgewandelt und in statistische Programme, wie *Excel* oder *SPSS*, exportiert werden können. Um eine möglichst hohe Güte dieses Auswertungsschrittes zu erreichen, erfolgte ein konsensuelles Codieren, bei dem jedes redigierte Transkript durch die Autorin der vorliegenden Arbeit und einer Mitarbeiterin der Fachdidaktik Biologie unabhängig voneinander codiert wurde. Dabei auftretende Differenzen wurden anschließend im Rahmen einer diskursiven Validierung diskutiert. In der Hauptuntersuchung wurde zusätzlich die Reliabilität der Ergebnisse der Zweitkodierung mit dem Übereinstimmungskoeffizienten *Cohens Kappa* bestimmt (Wirtz & Caspar, 2002, Kapitel 4.3.1). Die fachliche Richtigkeit der Schüleraussagen wurde bei den Codierungen außer Acht gelassen, da sie für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit keine Rolle spielte.

3. Häufigkeitsanalysen

Der dritte Schritt des thematischen Codierens besteht nach Hopf (1993) im Erstellen von Häufigkeitsanalysen für eine Materialzusammenschau und einen quantitativen Überblick (Kuckartz, 2010). Dazu wurden die Schüleraussagen zunächst hinsichtlich ihrer Verteilung auf die einzelnen Niveaus ausgewertet, um festzustellen, inwiefern die konstruierte Hands-On-Struktur Vorstellungen zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung aktiviert (Abb. 19). Die jahrgangsspezifische Verteilung gibt dabei Aufschluss über die geeignete Jahrgangsstufe und ob der Kontext in Bezug auf die Schwierigkeit angemessen ist. Letztlich wurde analysiert, wie sich die Schüleraussagen quantitativ auf das von Grünkorn et al. (2014) entwickelte Kategoriensystem verteilen, um einen schnellen Überblick über nicht bestätigte und induktiv hinzugefügte Kategorien zu erhalten (Kapitel 3.3.5).

4. Vertiefende Einzelfallanalysen

Zum Schluss des thematischen Codierens werden Einzelfälle vertiefend analysiert (einzelne Probandinnen oder Probanden, thematische Schwerpunkte), um die Ergebnisse der Häufigkeitsanalysen zu erklären und Zusammenhänge zu erkennen. Kuckartz (2010, S. 89) macht diesbezüglich deutlich:

„Es sind keine tiefenpsychologisch angelegten, breit argumentierenden Falldarstellungen – was bei mehreren Stunden Interview leicht zu einer mehr als 100-seitigen Darstellung führen könnte – sondern sehr konzentrierte, auf die Beantwortung theoretischer Fragen fokussierte Analysen, in denen die ausgewählte Person nicht als Persönlichkeitsstudie betrachtet wird, sondern als ‘Fall von...’.“

Daher werden die Forschungsergebnisse der Einzelfallanalysen nicht wie in Ansätzen der quantitativen Forschungsrichtung generalisiert, sondern „exemplarisch verallgemeinert“ (Wahl et al., 1982, S. 206; vgl. Kapitel 4.4.5). In der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgabe wurde zum einen der redigierte Text der Probandinnen und Probanden explorativ, intensiv und mehrmals ausgewertet, indem Auffälligkeiten markiert und Gedanken mithilfe von Memos notiert wurden. Zum anderen erfolgte eine Analyse aller Schüleraussagen pro Teilkompetenz. Ziel war es, die Ergebnisse der Häufigkeitsanalysen und die zum Codiersystem induktiv hinzugefügten Kategorien zu begründen, sowie Ideen für neue Reflexionsangebote zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung zu generieren.

3.3.5 Ergebnisse

Die vier Probandinnen und Probanden der Jahrgangsstufen sieben bis zehn waren in der Lage, die Hands-On-Aufgaben zur Modellbildung zu lösen. Dabei regten die verschiedenen Tätigkeiten und Reflexionsangebote zur Modellbildung Schüleraussagen zu allen Teilkompetenzen von Modellkompetenz an, die mit den Erhebungsinstrumenten erfasst werden konnten (Kapitel 3.3.3). Aus den Interviews und dem Lauten Denken wurden 135 Schüleraussagen generiert und dem Kategoriensystem zugeordnet. Bei einigen Interviewfragen zeigten die Schülerinnen und Schüler Verständnisschwierigkeiten, infolge dessen der Leitfaden optimiert wurde. Das Laute Denken bereitete den Schülerinnen und Schülern keine Probleme. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit für eine Aufgabe betrug 45 Minuten.

Qualität der Schüleraussagen

Die Schüleraussagen wurden im Rahmen der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgabe zunächst hinsichtlich ihrer Verteilung auf die einzelnen Niveaus der fünf Teilkompetenzen von Modellkompetenz ausgewertet, um festzustellen, inwiefern die konstruierte Struktur Vorstellungen zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung aktiviert. Dabei zeigt sich, dass die Probandinnen und Probanden häufig auf dem ersten Niveau von Modellkompetenz argumentierten, also auf der Ebene des Modellobjekts (Abb. 19).

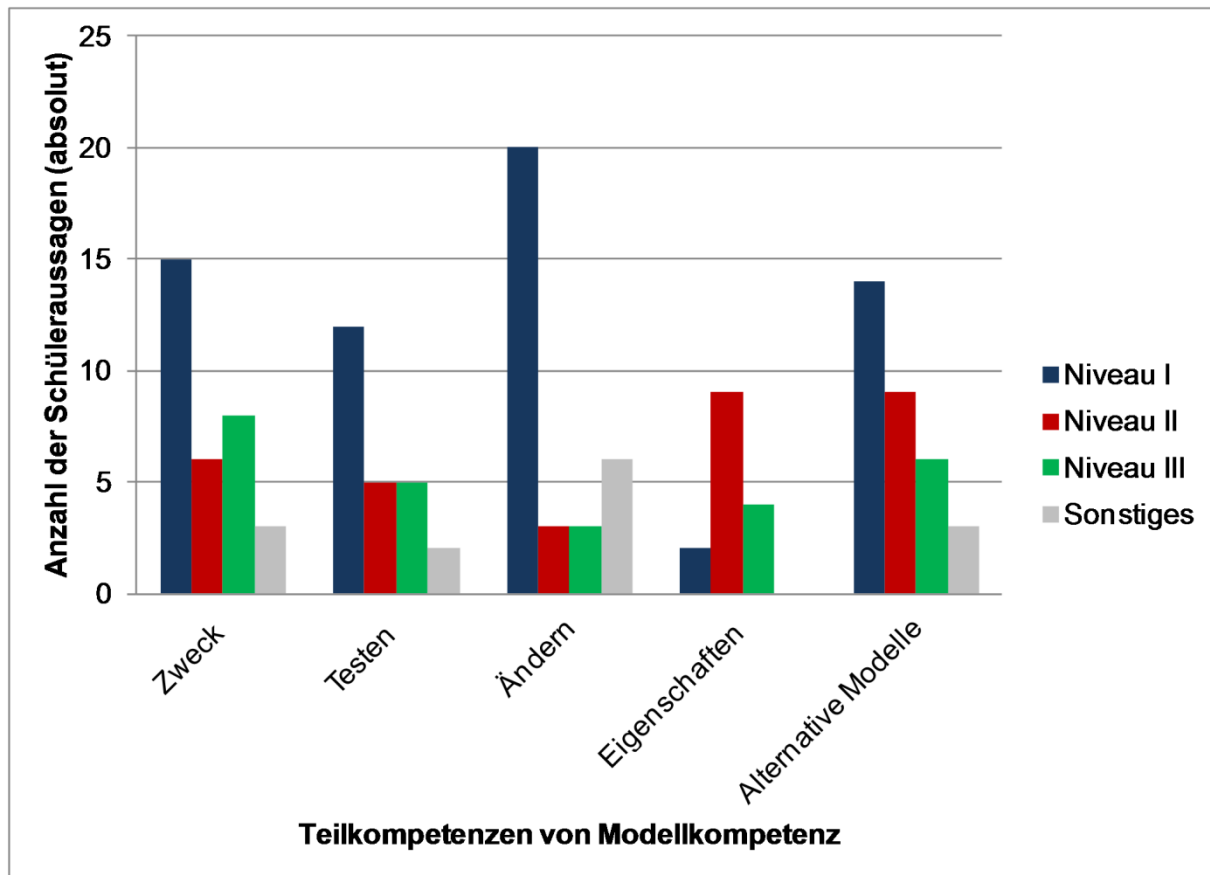


Abb. 19: Verteilung der Schüleraussagen in absoluten Zahlen auf die Niveaus der Teilkompetenzen von Modellkompetenz (N=135).

Die vertiefenden Analysen des Datenmaterials verdeutlichten bezüglich der Prominenz von Niveau I, dass sich die Schülerinnen und Schüler in ihren Ausführungen meist auf ihre gezeichneten und konstruierten Modellobjekte bezogen und bezüglich der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* auf deren medialen Charakter (Tab. 10)

Tab. 10: Schüleraussagen zum Modellobjekt (TK Testen, Ändern von Modellen, Alternative Modelle) und dessen medialen Charakter (TK Zweck von Modellen).

Zweck von Modellen	<i>Mit meinem Modell kann ich sehen, wie Fische mit ihrer Blase im Wasser schweben. Also die Flasche schwebt ja im Wasser, indem drinnen der Druck von (der) Luft ist. (ACH 01:14:59)</i>
Testen von Modellen	<i>Ich kann mein Modell überprüfen, indem ich nachsehe, ob das Modell dann auf dem Boden liegt oder ganz oben schwimmt oder in der Mitte, so wie es sein soll. (TUN 01:46:12)</i>
Ändern von Modellen	<i>Ich würde mein Modell ändern, wenn es runtersinken würde oder wenn es nicht über Wasser schweben würde, wie der Fisch. (ZE 01:52:13)</i>
Alternative Modelle	<i>Zur Wirbelsäule kann es verschiedene Modelle geben, zum Beispiel so unaufgefädelt Bestandteile oder im Stehen oder man könnte es ja aufmalen oder kleben. (AMI 00:48:12).</i>

Einzig bei der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* wurden kaum Vorstellungen auf dem ersten Niveau generiert, da die Modellbildungsprozesse der Hands-On-Aufgaben den idealisierten Charakter von Modellen zu ihren Originalen verdeutlichen: „Eigentlich ähneln sich Modell und Original ja nur von der Funktion und manchmal auch von der Form, aber von der Farbe zum Beispiel oder von den anderen Sachen, die wir sehen, eher nicht so“ (ACH 00:01:19-8).

Die jahrgangsspezifische Analyse zur Verteilung der Aussagen auf die einzelnen Niveaus zeigte wie bei Terzer (2013) tendenziell einen Zusammenhang von elaborierten Schüleraussagen zu Modellen und steigender Jahrgangsstufe. In den Jahrgangsstufen sieben und acht wurde überwiegend auf den ersten beiden Niveaus von Modellkompetenz argumentiert. Das dritte Niveau wurde fast ausschließlich durch den Probanden der zehnten Jahrgangsstufe erreicht. Ihm fiel es jedoch schwer, eigene Fragen zu den Phänomenen (Funktionsweise der Schwimmblase bei Fischen und der menschlichen Wirbelsäule) zu formulieren und darauf basierende Vermutungen mit der Modellbildung zu untersuchen. Die Kontexte waren tendenziell zu leicht für den Probanden. Die Untersuchung zeigt, dass leicht zugängliche Modelle zu weniger schwierigen Themen einen medialen, anstelle eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozesses bewirken (Tab. 7). Im Vergleich beider Kontexte zeigten die Einzelfallanalysen, dass die humanbiologische Hands-On-Aufgabe zur Funktionsweise der Wirbelsäule tendenziell geeigneter zur Aktivierung von Schülervorstellungen auf dem zweiten und dritten Niveau war, wohingegen der Kontext zur Schwimmblase mehr Schüleraussagen auf dem ersten Niveau aktivierte.

Adaptation des Kategoriensystems

Eine weitere wichtige Aufgabe der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgabe bestand in der Adaptation des Kategoriensystems von Grünkorn und Team (2014) an das Datenmaterial und die Zielstellung des vorliegenden Projekts (Anhang S. 161). Dabei wurden die Kategorien nicht in die Codierleitfäden des vorliegenden Projekts aufgenommen, die sich nicht mit den Schüleraussagen des Hands-On-Projekts bestätigen ließen. Das betrifft beispielsweise die initialen Kategorien mit dem Bezug, dass es keine alternativen Modelle zu einem Original gibt und dass Modelle nicht getestet werden (Kapitel 2.5.2; Grünkorn et al., 2014). Die Probandinnen und Probanden der Voruntersuchung gingen stets von der Existenz alternativer Modelle aus und beschrieben Möglichkeiten, diese zu testen. Auch zu den meisten zusätzlichen Kategorien in der Teilkompetenz *Zweck von Modellen*, beispielsweise *Modell als Spielzeug* oder *Modell zu Dekorationszwecken* (Grünkorn et al., 2014), wurden keine Schülervorstellungen geäußert.

Die Ergebnisse der Voruntersuchung weisen, insbesondere in den Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen*, spezifische Argumentationsschwerpunkte zu den Hands-On-Aufgaben auf, die induktiv als Kategorien den Codierleitfäden hinzugefügt wurden. Oft war dabei eine Zuordnung zwar zu einer Teilkompetenz möglich, nicht jedoch zu einem spezifischen Niveau. In diesen Fällen erfolgte eine Codierung in *Sonstiges*. Tab. 11 gibt einen Überblick über die induktiv gebildeten Kategorien, die im Anschluss ausführlicher beschrieben werden.

Tab. 11: Induktiv gebildete Kategorien aus der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgaben.

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband/in, Zeit)
II	EIGENSCHAFTEN VON MODELLEN	
	MODELL ALS IDEALISIERTE REPRÄSENTATION <ul style="list-style-type: none"> SuS beschreiben ein abstraktes Verhältnis zwischen Modell und Original, ohne bestimmte Teile oder einen Fokus zu betonen übereinstimmende/nicht übereinstimmende Merkmale werden NICHT präzisiert 	<i>Und Jugendliche, die das nur ganz schematisch brauchen, also nicht sehr komplex, denen reicht dann auch so etwas hier. Oder so etwas (zeigt auf Schülermodelle). (ANN 38:12)</i>
Sonstiges	ZWECK VON MODELLEN	
	MODELL ZUM AUSPROBIEREN <ul style="list-style-type: none"> dient der eigenen Durchführung, dem Ausprobieren 	<i>Mit Modellen kann man auch irgendwas selber machen oder was ausprobieren. (NAN 00:27:48-0)</i>
	MODELL FÜR AUFKLÄRUNG <ul style="list-style-type: none"> dient der Aufklärung über die Gesundheit 	<i>(Die Wissenschaftler nutzen Modelle) zur Aufklärung der breiten Masse, dass halt diese Gefahr vom Bandscheibenvorfall und dieses Risiko nicht so schlimm ist. (TI 33:28)</i>
	MODELL FÜR EIGENES VERSTÄNDNIS <ul style="list-style-type: none"> für EIGENES Verständnis, um selbst Dinge nachzuvollziehen Adressat ist Modellnutzer 	<i>(Ich setze mein Modell ein), um Leuten näher zu bringen bzw. auch für mich (um) zu verstehen, wie das funktioniert (und) welche Folgen das hat. (MA 22:03)</i>
	MODELL FÜR KOMMUNIKATION <ul style="list-style-type: none"> dient dem nach Außentragen von eigenen Vorstellungen/dem Diskutieren nicht im Sinne eines didaktischen Nutzens 	<i>(Dieses Modell setze ich) zum Darüber-Diskutieren ein. Also wenn ich sowas jetzt in einer Runde oder so hätte, dass man seine Vermutungen anhand der Vorstellung dann äußert. (NAN 00:10:03-4)</i>

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband/in, Zeit)
I	ZWECK VON MODELLEN	
	MODELL ZUM DARSTELLEN MEHRERER SACHVERHALTE <ul style="list-style-type: none"> stellt mehrere Sachverhalte dar (Nähe zu Alternative Modelle) 	Wenn man jetzt zum Beispiel ein Modell für die Wirkung von Medikamenten hat oder das Andere ist dann eben nur auf den Bau spezialisiert. Aber am besten wäre es natürlich schon, wenn alles in Einem geht zum Zeigen. (LA 44:21)
	MODELL ZUM ERKENNEN VON SACHVERHALTEN <ul style="list-style-type: none"> persönlicher Zweck für Modellnutzer beschrieben kein Adressat benannt 	Ein Modell würde ich so beschreiben, dass es ein Gegenstand ist, den man sich angucken kann und daran bestimmte Sachverhalte vielleicht besser nachvollziehen und verstehen kann. (TI 00:00:23-5)
Sonstiges	TESTEN VON MODELLEN	
	INFORMATIONSSRECHERCHE <ul style="list-style-type: none"> Testen des Modellobjekts mithilfe von Informationen von Lehrkräften, Wissenschaftlern oder aus Büchern, Internet Testkriterium: Richtigkeit/Nützlichkeit 	(Ob mein Modell brauchbar ist), würde ich mir von Lehrern sagen lassen. Also von jemandem, der Ahnung hat, ob das nun richtig oder falsch ist. (NAN 00:19:24-4)
	VERGLEICH MIT ANDEREN MODELLOBJEKTEN <ul style="list-style-type: none"> testen durch einen Vergleich mit bereits existierenden Modellobjekten 	(Ich würde das Modell) mit den anderen vergleichen und gucken, was die gemacht haben und dann würde ich das mehr oder weniger nachmachen. (ANN 00:31:51-9)
	MODELLBAU <ul style="list-style-type: none"> testen, indem Modell mit Materialien gebaut und ausprobiert wird 	(Um zu überprüfen, ob mein Modell brauchbar ist), muss ich meine Zeichnung richtig rekonstruieren. Also das richtige Modell zum Anfassen machen. Und dann einfach probieren, ob das so funktioniert, wie ich mir das denke. (ANN 00:29:52-5)

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband/in, Zeit)
Sonstiges	ÄNDERN VON MODELLEN	
	VERLETZUNG VON PATENTRECHTEN <ul style="list-style-type: none"> Argumentation mit kreativen und individuellen Charakter von Modellen 	(Ich ändere mein Modell), vielleicht wenn irgendwer schon so eine Idee hatte und ich (es) merke. Ich müsste es ändern, wenn er Patent darauf hat. (IA 00:14:25-3)
	PERSÖNLICHES MISSFALLEN <ul style="list-style-type: none"> Ändern wegen Unzufriedenheit zum Modell von anderen oder vom Modellierer selbst 	(Ich ändere mein Modell auch), wenn es mir selber nicht mehr gefällt. (STU 00:33:22-7)
	NEUES MODELLOBJEKT <ul style="list-style-type: none"> Ändern im Sinne eines völlig neuen Modellobjekts 	Und dann würde ich gucken, ob es richtig ist. Und wenn nicht, würde ich es nochmal neu machen (oder) überarbeiten. (ANN 54:21)
	NACHAHMUNG BEREITS EXISTIERENDER MODELLOBJEKTE <ul style="list-style-type: none"> Ändern als Nachahmung, Autoritätsgedanke 	(Ich würde das Modell) mit den anderen vergleichen und gucken, was die gemacht haben und dann würde ich das mehr oder weniger nachmachen. (ANN 33:56:08)
	MANGELNDE PASSUNG MIT SUBJEKTIVEN VORSTELLUNGEN <ul style="list-style-type: none"> Ändern wegen Diskrepanz zu persönlichen Vorstellungen 	Ich ändere mein Modell, wenn alles überhaupt gar nicht funktioniert hat, wie ich es mir vorgestellt habe. (CO 00:16:12-1)

Den durch Grünkorn et al. (2014) beschriebenen Kategorien zur Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* wurde auf dem zweiten Niveau die allgemein formulierte Kategorie *Modelle als idealisierte Repräsentationen* induktiv hinzugefügt. Einige Probandinnen und Probanden beschrieben ein abstraktes Verhältnis zwischen Modell und Original, ohne dabei bestimmte Merkmale oder Ausschnitte im Original zu fokussieren.

Zur Teilkompetenz *Zweck von Modellen* wurden wie bei Grünkorn et al. (2014) viele Kategorien unter *Sonstiges* induktiv hinzugefügt. So beschrieben einige Schülerinnen und Schüler aufgrund der handelnden Auseinandersetzung, dass man mit Modellen etwas selbstständig ausprobieren kann. Der humanmedizinische Kontext führte dagegen zu Beschreibungen über Modelle mit einem Nutzen zur gesundheitlichen Aufklärung. Bei der allgemeineren Kategorie *Modelle als Mittel zur Kommunikation* werden persönliche Vorstellungen mithilfe des Modells zu Diskussionszwecken nach außen getragen. Davon ist die Kategorie *Modelle mit einem Nutzen für das eigene Verständnis* abzugrenzen, bei der das individuelle Verständnis des Modellierers selbst ohne einen potenziellen Adressaten im Fokus der Argumentation steht. Eine Zuordnung dieser beiden Kategorien zum ersten oder zweiten Niveau der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* ist nicht möglich, da nicht deutlich wird, ob es sich um die Darstellung einzelner Sachverhalte oder ganzer Zusammenhänge handelt. Doch auch bei diesen Niveaus spielt die Anwesenheit eines potenziellen Modelladressaten eine Rolle. Analog zur Unterscheidung von Grünkorn et al. (2014) zwischen einem Erkennen und Erklären von Zusammenhängen auf dem zweiten Niveau wird in der vorliegenden Untersuchung auch auf dem ersten Niveau zwischen dem Nutzen von Modellen zum Darstellen und Erkennen von Sachverhalten differenziert. Zusätzlich äußerten die Probandinnen und Probanden explizit zum ersten Niveau Aussagen dahingehend, mit einem Model auch mehrere Sachverhalte darstellen zu können.

Das Kategoriensystem der Teilkompetenz *Testen von Modellen* wurde unter *Sonstiges* um drei Kategorien induktiv erweitert. So beschrieben einige Schülerinnen und Schüler die Recherche nach Informationen als eine Form des Testens, wobei Autoritäten wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler oder Lehrkräfte befragt werden oder Medien wie Bücher oder das Internet herangezogen werden. Ein ähnlicher, aber unterschiedlicher Fokus liegt in den Schüleraussagen zum Testen von Modellen als ein Vergleich mit bereits existierenden, anderen Modellobjekten. Beide Kategorien implizieren, dass die betreffenden Probandinnen und Probanden von unveränderlichem Wissen ausgehen. Die dritte induktive Kategorie *Modellbau* wurde durch Schüleraussagen zu den gezeichneten Modellen gebildet. Das Testen besteht dabei in einem konkreten Konstruktionsprozess, um die Modelle selbst ausprobieren zu können.

Neben der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* wurden besonders häufig Kategorien dem *Ändern von Modellen* hinzugefügt. Die Kategorie *Verletzung von Patentrechten* verdeutlicht, dass den Schülerinnen und Schülern der kreative Charakter ihrer Modelle bewusst ist. Die Kategorie *Nachahmung bereits existierender Modellobjekte* als eine Form des Änderns weist darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler Wissen als gegeben sehen und nicht hinterfragen. In der Kategorie *persönliches Missfallen* wurde kein Grund für die Unzufriedenheit genannt, der eine Zuordnung zu einem Niveau ermöglichen würde. Das Missfallen kann dabei vom Modellierer selbst oder von anderen ausgehen. Die Kategorie *Mangelnde Passung mit subjektiven Vorstellungen* fokussiert eine Diskrepanz zwischen einem individuell konstruierten Modell mit den subjektiven Vorstellungen.

Einige hier beschriebene Kategorien weisen theoriekonform (Kapitel 2.2.2) eine Nähe zu einzelnen Kategorien des Wissenschaftsverständnisses nach Kremer (2010) auf. Die Kategorie *Verletzung von Patentrechten* deutet beispielsweise eine Nähe zu Kremers (2010) Kategorie ‚Kreativität von Naturwissenschaftlern‘ an. Andererseits zeigen Aussagen zu den Kategorien *Informationsrecherche* oder *Vergleich mit bereits existierenden Modellobjekten* als eine Form des Testens, dass die Schülerinnen und Schüler von unveränderlichem Wissen ausgehen, das nicht in Frage gestellt wird. Hier zeigt sich eine Nähe zur Kategorie des Wissenschaftsverständnisses ‚Sicherheit von Wissen‘ im entgegengesetzten Sinn.

3.3.6 Schlussfolgerungen für die Hauptstudie

Qualität der Schüleraussagen

Als Folge der Fokussierung der Schülervorstellungen auf die konstruierten Modellobjekte und deren medialen Charakter wurden für die Hauptuntersuchung zur Optimierung der Hands-On-Aufgabenstruktur weitere drei Reflexionsangebote zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung integriert. Konkret wurden zusätzlich zu den Alternativen Modellen aus dem Schulkontext ein wissenschaftliches Modell gezeigt (Abb. 13), in den Interviewleitfaden eine Frage zum Ablauf der wissenschaftlichen Modellbildung integriert (Anhang S. 154) und folgend ein konkretes Beispiel zum Ablauf der wissenschaftlichen Modellbildung vorgestellt (Anhang S. 153; Kapitel 3.1.2). Eine Gegenüberstellung der Modellbildungsprozesse bei Schülerinnen und Schülern mit denen in der Wissenschaft kann eine verknüpfende Erfahrung zwischen der wissenschaftlichen Modellbildung und dem Wissenstand der Schülerinnen und Schüler sein (Jackson et al., 1994). Hamilton und Team (1997) weisen daraufhin, dass Schülerinnen und Schüler explizit zum wissenschaftlichen Denken aufgefordert werden müssen. Die Autoren gehen davon aus, dass sie dazu oft die Fähigkeiten besitzen, aber ohne explizite Aufforderung dennoch ihre alltäglich genutzten Vorstellungen äußern:

„Tasks may provide students with opportunities to reason scientifically but may not explicitly require it. If students do not know that they are expected to reason in a certain way..., the assessment may not provide a valid picture of their capabilities. If the task does not explicitly require scientific reasoning, students will often prefer to construct answers using everyday concepts and knowledge“ (Hamilton et al., 1997, S. 197).

Die zunehmende Häufigkeit von Schüleraussagen zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung von der Probandin der Jahrgangsstufe sieben bis hin zum Probanden der Jahrgangsstufe zehn bestätigt auch die Studie von Terzer (2013), die bei einer großen Stichprobe (N = 1178) einen empirisch signifikanten Kompetenzunterschied von der Jahrgangsstufe 7 bis zur Jahrgangsstufe 10 nachwies. Mit Blick auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit wurden daraufhin Probandinnen und Probanden der zehnten Jahrgangsstufe für die Hauptuntersuchung festgelegt: Zur Identifizierung von Tätigkeiten und Angeboten, die elaborierte Vorstellungen zu Modellen aktivieren, sollten die teilnehmenden Probandinnen und Probanden potenziell in der Lage sein, die erkenntnisgenerierende Perspektive zur Modellbildung einzunehmen. Da die Kontexte der konstruierten Hands-On-Aufgaben mit Blick für eine erkenntnisgenerierende Modellbildung tendenziell zu leicht für den Schüler der zehnten Jahrgangsstufe war, wurde eine neue Hands-On-Aufgabe zum Kontext ‚Entstehung eines Herzinfarkts durch die Arteriosklerose‘ entwickelt. Dieser Kontext ist als ein Aspekt der Thematik ‚Blutzirkulation‘ für Schülerinnen und Schüler herausfordernd, da er als Prozess im Körper ohne Modelle nicht zugänglich ist (Buckley, 2000). Zudem ist die Volkskrankheit aufgrund ihrer Häufigkeit alltagsrelevant und als humanbiologisches Thema für Schülerinnen und Schüler interessant (Erten, 2008). Entgegen der Hinweise zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung von Fleige et al. (2012) und Krell (2013, Kapitel 3.1.1) zeigte sich, dass leicht zugängliche Modelle zu einfachen Themen einen medialen, statt eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess bewirkten.

Bei der empirischen Erprobung bearbeitete jede Probandin und jeder Proband jeweils zwei Aufgabenkontexte mit dem Ziel, vielfältige Kenntnisse und Fähigkeiten zu Modellen und zur Modellbildung erfassen zu können. Es stellte sich heraus, dass die Kontexte einen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad aufweisen, da zur Funktionsweise der Schwimmblase mehr Schülervorstellungen auf dem ersten Niveau von Modellkompetenz geäußert wurden. Auch andere Studien bestätigen, dass verschiedene Kontexte unterschiedliche schwierigkeits erzeugende Merkmale aufweisen, die sich auf die Kompetenzausprägungen auswirken (Prenzel, Häußler, Rost & Senkbeil, 2002; Schecker & Parchmann, 2006). Resultat ist eine aufgabenbedingte Stichprobenvarianz aufgrund des sogenannten Aufgabeneffektes, was mit einem Reliabilitätsverlust einhergeht (Baxter

& Shavelson, 1994). Um diesen zu minimieren und eine Vergleichbarkeit der individuellen Schülervorstellungen zu gewährleisten, lösten in der Hauptuntersuchung alle Probandinnen und Probanden die gleiche Hands-On-Aufgabe zum selben Kontext (Zusammenfassung über die Kontexte siehe Tab. 7).

Sowohl die veränderte Hands-On-Aufgabenstruktur mit neuem Kontext und neuen Reflexionsangeboten zur wissenschaftlichen Modellbildung als auch der veränderte Interviewleitfaden wurden vor der Hauptuntersuchung noch einmal an drei Zehntklässlern evaluiert. Sie erwiesen sich dort als geeignete Instrumente.

Adaptation des Kategoriensystems

Einige induktiv hinzugefügte Kategorien weisen interessante Analogien zum Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) auf. Die Autoren differenzieren zwischen einem Verändern des mentalen Modells und dem Verwerfen des mentalen Modells, wobei im letzten Fall die Modellbildung erneut begonnen wird. Analog unterscheiden einige Probandinnen und Probanden zwischen einem Ändern von Modellen und dem Beginn eines neuen Modellbildungsprozesses: „Und dann würde ich gucken, ob es richtig ist. Und wenn nicht, würde ich es nochmal völlig neu machen oder überarbeiten“. Schüleraussagen dieser Art wurden der Kategorie *Neues Modellobjekt* hinzugefügt und werden in der Hauptuntersuchung mit Blick auf unterschiedliche Formen des Ändern von Modellen näher analysiert.

Neben den Analogien einiger induktiv hinzugefügter Kategorien zum Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) zeigen andere Kategorien wichtige Aspekte der Modellbildung, die keine Beachtung im Schema finden. So verdeutlichen einige Schüleraussagen zum *Zweck von Modellen* die wichtige Rolle des potenziellen Modelladressaten im Prozess der Modellbildung oder die Kategorie *Informationsrecherche* eine wichtige Form des Testens von Modellen. Als Folge dieser Pilotierungsergebnisse wird das Kategoriensystem für die Hauptuntersuchung um den Codierleitfaden zu den einzelnen Schritten der Modellbildung erweitert (Anhang 7/VI). Bei der Auswertung der Hauptuntersuchung können damit explorativ einzelne Schritte der Modellbildung und dabei auftretende Probleme untersucht werden. Insbesondere abweichende Aspekte zum Schema der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) müssen für den schulischen Gebrauch analysiert werden, um bei der Entwicklung und Konstruktion von Lernmaterialien Beachtung zu finden. Daher ergibt sich für die Hauptstudie induktiv eine neue Fragestellung, die explorativ untersucht wird:

(7) Inwiefern bilden die empirischen Daten der Untersuchung den Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) ab?

4 Empirische Studie zu Schülervorstellungen im Prozess der Modellbildung

4.1 Untersuchungsdesign

Grundlage der Hauptuntersuchung 'Empirische Studie zu Schülervorstellungen im Prozess der Modellbildung' sind die Konzipierungsschritte und empirischen Ergebnisse der Studie ‚Operationalisierung der Modellbildung‘ (Kapitel 3), insbesondere die modellbildende Hands-On-Aufgabe zum Kontext ‚Entstehung eines Herzinfarkts durch die Arteriosklerose‘ (Kapitel 3.1) sowie die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung (Kapitel 3.3.3, 3.3.4). Das Ziel ist nicht nur die Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen durch einzelne Schritte und verschiedene Reflexionsangebote zur Modellbildung zu untersuchen, sondern mit Blick auf die Anbindung in den Schulkontext auch den Effekt verschiedener Formen der Modellbildung auf die Schülervorstellungen und modellbildenden Tätigkeiten. Dazu wurden die zwei modellbildenden Schritte *Zeichnen* und *gegenständliches Konstruieren* (Kapitel 3.1.2) jeweils mit der verbalisierenden Modellbildung ergänzt. Während also einige Probandinnen und Probanden bei der ersten Modellbildung die Instruktion „Denke dir ein Modell aus, fertige eine Zeichnung an und beschrifte sie!“ erhielten, bekamen Andere die Aufgabe „Denke Dir ein Modell zum Herzinfarkt aus und beschreibe es!“. Bei der zweiten Modellbildung hießen die Instruktionen „Baue dein Modell mit den Materialien aus der Kiste!“ oder „Denke dir aus, wie du ein Modell zum Herzinfarkt mit verschiedenen Materialien bauen könntest!“. Das Zeichnen von Modellen, das Konstruieren mit verschiedenen Materialien und das Verbalisieren von Denkmodellen stellen die geringsten Anforderungen an Novizen in der Modellbildung (Sins, Savelsbergh & van Joolingen, 2005; Maia & Justi, 2009; Leutner & Opfermann, 2013). Außerdem sind diese drei Formen der Modellbildung hinsichtlich eines zeitlichen, materiellen und organisatorischen Aufwands für den Schulkontext praktikabel. Sie wurden bereits in Kapitel 2.2.1 erläutert.

Um Unterschiede zwischen den verschiedenen Formen der Modellbildung untersuchen zu können, wurde für die Hauptuntersuchung ein qualitatives, experimentelles Untersuchungsdesign festgelegt. Das 2X2 experimentelle Untersuchungsdesign wurde mit jeweils vier Schülerinnen und Schülern einer zehnten Jahrgangsstufe aus drei verschiedenen Gymnasien in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt (N=12). Die vier Schülerinnen und Schüler der gleichen Klasse wurden jeweils vier verschiedenen Gruppen zugeordnet, die im ersten Schritt ein Modell zeichneten oder verbalisierten und im zweiten Schritt ein gegenständliches Modell konstruierten oder stattdessen verbalisierten (Tab. 12). Konkret wurden also die vier Gruppen

Zeichnen/Konstruieren, Zeichnen/Verbalisieren, Verbalisieren/Verbalisieren und Verbalisieren/Konstruieren untersucht.

Tab. 12: Experimentelles Design der Hauptuntersuchung.

	1. Schritt: Zeichnen	1. Schritt: kein Zeichnen/ Verbalisieren
2. Schritt: Konstruieren	3 SuS	3 SuS
2. Schritt: kein Konstruieren/ Verbalisieren	3 SuS	3 SuS

Tab. 13 gibt eine Übersicht über die Probandinnen und Probanden der Hauptuntersuchung, die sich zur Wahrung der Anonymität mit Abkürzungen benannten. Das durchschnittliche Alter der sechs weiblichen und sechs männlichen Probandinnen und Probanden lag bei 16 Jahren. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit für die Hands-On-Aufgabe zur Thematik *Arteriosklerose* betrug 36 Minuten.

Tab. 13: Übersicht über die Probandinnen und Probanden der Hauptuntersuchung (N=12).

Proband	Gruppe	Geschlecht	Alter	Bearbeitungszeit (min.)	Noten (Bio./Chem./Phy.)
LA	V/V	♀	16	30	1/2/1
SU	V/V	♂	16	30	2/3/2
NA	V/V	♂	16	35	2/2/2
TI	Z/V	♂	16	30	2/2/1
CO	Z/V	♀	16	30	2/2/3
IA	Z/V	♂	17	40	3/2/3
ST	Z/K	♂	16	50	2/3/2
LI	Z/K	♀	16	35	2/3/3
AN	Z/K	♀	15	40	3/3/3
IL	V/K	♀	16	35	1/1/1
AM	V/K	♀	16	40	2/2/2
MA	V/K	♂	15	35	3/3/3

In der Hauptstudie wurden zusätzlich Kontrollvariablen zum Modellverständnis herausgearbeitet und erhoben, um mögliche Unterschiede zwischen den Probandinnen und Probanden hinsichtlich der Qualität ihrer Aussagen zu Modellen und zur Modellbildung erklären zu können. Diesbezüglich wurden aus der Theorie und dem Stand

der Forschung mit Blick auf den Fokus der vorliegenden Untersuchung das Fachwissen, die figurale und sprachliche Intelligenz sowie das Wissenschaftsverständnis herangezogen (Tab. 14).

Fachwissen

Ein Zusammenhang zwischen Modellverständnis und Fachwissen wiesen beispielsweise die Studien von Gobert und Pallant (2004), Schwarz und White (2005) oder Terzer (2013) nach. In der vorliegenden Untersuchung wurde mithilfe der Informationskarte versucht, diesen Einfluss gering zu halten (Kapitel 3.1.2). Eine Kontrolle diesbezüglich erfolgte mit der Methode des Concept-Mapping als objektive Erhebungsmethode für Wissen (Ruiz-Primo, 2000). Ein Concept-Map oder auch Begriffsnetz ist ein Graf, der aus Begriffen, den sogenannten Knoten besteht, die durch beschriftete Verbindungspfeile miteinander in Beziehung gesetzt werden. Zwei Knoten, die mit einem beschrifteten Pfeil verbunden sind, werden als Kante oder Relation bezeichnet. Auf diese Weise werden die vorhandenen Wissensstrukturen eines Individuums external abgebildet (Schanze, 2004). In der vorliegenden Untersuchung erhielt nach der Einführung zum Lauten Denken und zur Methode des Concept-Mapping jede Probandin und jeder Proband je zehn wesentliche Begriffe auf selbstklebenden Kärtchen zum Kontext *Arteriosklerose* mit dem Auftrag, diese auf einem A3-Blatt mit beschrifteten Pfeilen in Beziehung zu setzen. Dabei mussten nicht alle Begriffe verwendet, neue Begriffe durften hinzugefügt werden. Bei der Auswertung erfolgte eine grafentheoretische Analyse mit der Bestimmung des *Komplexitätsindex* als fachwissenschaftlich richtiges Strukturwissen (Friege & Lind, 2000, Tab. 17). Er wird berechnet als Quotient aus der Anzahl fachwissenschaftlich korrekter Kanten und der Anzahl an Knoten. Zur Gewährleistung der Validität der Ergebnisse erfolgte die Auswertung der Begriffsnetze durch zwei Raterinnen unabhängig voneinander. Die Reliabilität wurde mit dem Übereinstimmungskoeffizienten *Cohens Kappa* bestimmt (Fleiss & Cohen, 1973). Desweiteren wurde auf die Transkripte des Lauten Denkens zum Concept-Mapping für eine eindeutige Einschätzung der Begriffsnetze zurückgegriffen. Eine Expertenmap eines Herzchirurgen unterstützte die Bewertung der fachlichen Richtigkeit (Anhang S. 171). Zusätzlich zum Concept-Mapping wurden die letzten Zeugnisnoten der Probandinnen und Probanden in den Fächern Biologie, Chemie und Physik erfasst (Tab. 13).

Wissenschaftsverständnis

Eine weitere Kontrollvariable stellt das Wissenschaftsverständnis der Probandinnen und Probanden dar, das theoretisch mit einer großen Nähe zum Modellverständnis beschrieben wird (Mayer, 2007; Schwarz et al., 2009; Gobert et al., 2011; Kapitel 2.2.2). Krell (2013) konnte empirisch einen positiven Zusammenhang zwischen dem Modell- und Wissenschaftsverständnis von Schülerinnen und Schülern zeigen. Im Rahmen der

vorliegenden Untersuchung wurden Kategorien zum Wissenschaftsverständnis ins thematische Codieren einbezogen (Kapitel 3.3.6). Außerdem wurden mehrere Subskalen des *nature of science*-Fragebogens von Urhahne und Team (2008) verwendet, die in Bezug auf Modellkompetenz relevant sind (Terzer, 2013, S. 130 f.): Herkunft, Sicherheit, Entwicklung und Rechtfertigung von Wissen. Zur Auswertung der Daten wurden Mittelwerte gebildet (Urhahne et al., 2008, Tab. 17).

Kognitive Fähigkeiten

Als weitere Kontrollvariable von Modellverständnis werden kognitive Fähigkeiten beschrieben (Sins et al., 2009; Terzer, 2013; Krell, 2013). Diesbezüglich können verschiedene Dimensionen mit dem kognitiven Fähigkeitstest (KFT) nach Heller und Perleth (2000) erfasst werden. In der vorliegenden Untersuchung wurde das sprachliche Denken erhoben (V3-Skala), da die Erhebungsinstrumente Interview und Lautes Denken gute kommunikative Fähigkeiten voraussetzen. Zusätzlich wurde als wichtiger Bestandteil nonverbaler Intelligenz das anschauungsgebundene figurale Denken ermittelt (N2-Skala), um insbesondere bestimmte Ergebnisse zur Modellbildung erklären zu können. Die Auswertung erfolgte entsprechend des Auswertungsmanuals mit den T-Werten (Heller & Perleth, 2000, Tab. 17). Letztlich wurden vollständigkeithalber noch das Alter und das Geschlecht der Schülerinnen und Schüler erfasst (Tab. 13). Tab. 14 gibt einen Überblick über die erfassten Kontrollvariablen der Untersuchung.

Tab. 14: Überblick über die erfassten Kontrollvariablen der Untersuchung.

	Fachwissen	Wissenschaftsverständnis	Kognitive Fähigkeiten
Erhebungsmethode	Concept-Maps	<i>nature of science</i> -Fragebogen (Urhahne et al., 2008)	Kognitiver Fähigkeitstest (KFT, Heller & Perleth, 2000): <ul style="list-style-type: none"> • sprachliches Denken (V3-Skala) • figurales Denken (N2-Skala)
Auswertung	Komplexitätsindex als fachwissenschaftlich richtiges Strukturwissen (Friege & Lind, 2000)	Mittelwerte	T-Werte

4.2 Datenauswertung

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte wie in Kapitel 3.3.4 beschrieben, wobei die Schritte der Häufigkeitsanalysen und Einzelfallanalysen an die Zielsetzung der Hauptuntersuchung angepasst wurden. Mithilfe von Häufigkeitsanalysen wurden zunächst die Voraussetzungen der Daten untersucht (Kapitel 4.3.1). Diesbezüglich wurde geprüft, ob die drei Niveaus aller Teilkompetenzen durch alle Probandinnen und Probanden erreicht wurden (Tab. 16). Wichtig ist außerdem, dass in den vier Gruppen (Zeichnen/Konstruieren, Zeichnen/Verbalisieren, Verbalisieren/Verbalisieren, Verbalisieren/Konstruieren) ungefähr die gleiche Anzahl von Schüleraussagen getätigt wurden (Abb. 22). Zur Identifizierung prominenter Kategorien wurden die prozentuale Verteilung der Schüleraussagen auf die einzelnen Kategorien jeder Teilkompetenz untersucht (Abb. 23). Die Verteilung der Aussagen auf die einzelnen Niveaus jeder Teilkompetenz gibt Aufschluss über die Qualität der Schülerantworten zu Modellen (Tab. 18). Und schließlich wurde zur Analyse von Gruppenunterschieden die prozentuale Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus jeder Teilkompetenz bestimmt (Frage 5, S. 53; Abb. 27, Abb. 28). Die beschriebenen Häufigkeitsverteilungen gaben einen ersten Überblick über die Daten und wurden mithilfe qualitativer Analysen weiter untersucht.

Die qualitativen Analysen des thematischen Codierens wurden verwendet, um die Durchführung der einzelnen Tätigkeiten zur Modellbildung (Frage 1, S. 51; Kapitel 4.3.2), die Schülerperspektiven auf die verschiedenen Modellaspekte (Frage 2, S. 52; Kapitel 4.3.3) sowie Unterschiede zwischen der grafischen, gegenständlichen und verbalisierenden Modellbildung in Bezug auf die Modellbildungsprozesse und die Schülervorstellungen über Modelle zu beurteilen (Frage 4, S. 53; Kapitel 4.3.4). Der Ablauf orientierte sich an den Auswertungsschritten ‚Ordnen der Schüleraussagen‘ und ‚Explikation‘ aus dem Prozess der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005). Zunächst wurden alle redigierten Schüleraussagen jeweils gruppenweise in die einzelnen Schritte der Hands-On-Aufgabenstruktur geordnet:

Formulieren einer Forschungsfrage			
Zeichen/ Konstruieren	Zeichen/ Verbalisieren	Verbalisieren/ Konstruieren	Verbalisieren/ Verbalisieren
.....
.....
.....

Formulieren einer Vermutung			
Zeichen/ Konstruieren	Zeichen/ Verbalisieren	Verbalisieren/ Konstruieren	Verbalisieren/ Verbalisieren
.....
.....
.....

Zeichnen eines Modells			
Zeichen/ Konstruieren	Zeichen/ Verbalisieren	Verbalisieren/ Konstruieren	Verbalisieren/ Verbalisieren
.....
.....
.....

Konstruieren eines gegenständlichen Modells			
Zeichen/ Konstruieren	Zeichen/ Verbalisieren	Verbalisieren/ Konstruieren	Verbalisieren/ Verbalisieren
.....
.....
.....

usw.

Abb. 20: Ordnungsprozedere im Rahmen der qualitativen Analysen, um die Schüleraussagen sowohl gruppenspezifisch als auch hinsichtlich einzelner Schritte der Hands-On-Aufgabe zu vergleichen.

In weiteren Ordnungsschritten wurden thematisch zusammenhängende Aussagen kapitelweise zusammengestellt, sich wiederholende Passagen entfernt und Widersprüche farblich hervorgehoben. Außerdem erfolgte eine sprachliche Verallgemeinerung aller Aussagen, wobei Metaphern, Analogien und charakteristische Beispiele in originaler Ausdrucksweise erhalten blieben. Bei der folgenden Explikation wurden die Charakteristika und die Herkunft der Schülervorstellungen mithilfe formulierter Leitfragen zu jedem Schritt der Hands-On-Aufgabenstruktur interpretativ erschlossen:

Tab. 15: Leitfragen zur qualitativen Auswertung einzelner Schritte der Hands-On-Aufgabenstruktur. Die unterschiedlichen Grautöne grenzen die Modellbildungsprozesse Zeichnen/Verbalisieren im ersten Schritt und Konstruieren/Verbalisieren im zweiten Schritt voneinander ab.

Schritte der Hands-On-Aufgabenstruktur	Leitfragen
Aktivierung von Vorwissen	Welchen Ursprungsbereiches bedienen sich die Vorstellungen?
Formulierung einer Frage	Welche Frage wird gestellt und wodurch ist sie motiviert?
Präsentation der Informationskarte	Welche gedanklichen Prozesse/Handlungen aktiviert die Informationskarte?
Formulierung einer Vermutung	Worauf basiert die Vermutung?
Durchführung des ersten Modellbildungsprozesses (Zeichnen oder Verbalisieren)	Wie wird das Modell entworfen? Welchen Ursprungsbereiches bedienen sich die Vorstellungen? Wobei treten Schwierigkeiten auf? In welchem Verhältnis stehen Modell und Erklärung?
Beschreibung des Zwecks des ersten Modells	Inwieweit wird das Modell als hilfreich beschrieben?
Testen des ersten Modells	Welche Vorstellungen/Handlungen aktiviert das Testen?
Ändern des ersten Modells	Welche Vorstellungen/Handlungen aktiviert das Ändern? Bezieht sich der Änderungsprozess auf das vorherige Testen?
Durchführung des zweiten Modellbildungsprozesses (Konstruieren oder Verbalisieren)	Wie wird das Modell entworfen? Welche Vorstellungen/Handlungen aktiviert die Modellbildung? Inwiefern unterscheidet sich das zweite Modell vom Ersten? In welchem Verhältnis stehen Modell und Erklärung?
Beschreibung des Zwecks vom zweiten Modell	Inwieweit wird das Modell als hilfreich beschrieben?
Testen des zweiten Modells	Welche Vorstellungen/Handlungen aktiviert das Testen? Inwiefern unterscheidet sich das Testen des zweiten Modells vom Ersten?
Ändern des zweiten Modells	Bezieht sich der Änderungsprozess auf das vorherige Testen? Inwiefern unterscheidet sich das Ändern des zweiten Modells vom Ersten?
Bewerten der Vermutung	Kann die Vermutung mithilfe des Modells überprüft werden?
Präsentation der zweiten Informationskarte	Welche gedanklichen Prozesse/Handlungen aktiviert die Informationskarte?

Zusätzlich wurden im Rahmen der Explikation durch die Schülerinnen und Schüler geäußerte Probleme oder Brüche im Denken sowie besondere Modellbeispiele in Form von Metaphern oder Analogien gesondert zusammengestellt und analysiert. Auch die grafischen, gegenständlichen und verbal beschriebenen Modellobjekte wurden zur Beurteilung von Unterschieden zwischen den durchgeführten Formen der Modellbildung ausgewertet (Frage 4, S. 53).

Ein weiteres Vorgehen bestand darin, die Schüleraussagen ähnlicher Kategorien zwischen verschiedenen Teilkompetenzen zu vergleichen, um potenzielle globale Perspektiven zu erkennen (Frage 3, S. 52; Kapitel 3.3.6). Zur Beantwortung der Frage, welche konkreten Tätigkeiten und Reflexionsangebote Schülervorstellungen über die erkenntnisgenerierende Modellbildung und den gedanklichen Charakter von Modellen aktivieren (Frage 6, S. 54), bietet die Software *MAXQDA* eine spezifische fallorientierte Visualisierungsform an. Die sogenannten *Codelines* stellen den transkribierten Text als fortlaufendes Bild seiner Codierungen dar (Abb. 21). Sie werden im Projekt zum einen dazu verwendet, Interviewfragen und Angebote der Hands-On-Aufgabe zu identifizieren, die elaborierte Vorstellungen über Modelle und die Modellbildung aktivieren. Zum anderen visualisieren die Codelines Doppelcodierungen von Schüleraussagen in mehrere Kategorien und zeigen dadurch Korrelationen auf. In Abb. 21 stellen die Balken die in Kategorien geordneten Schüleraussagen der Teilkompetenzen dar. Mit fortlaufendem Text wird in der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* eine Argumentationsentwicklung von Niveau II zu Niveau III deutlich. Eine anschließende Analyse der betreffenden Textstellen ermöglicht einen Rückschluss auf die präsentierten Reflexionsangebote.

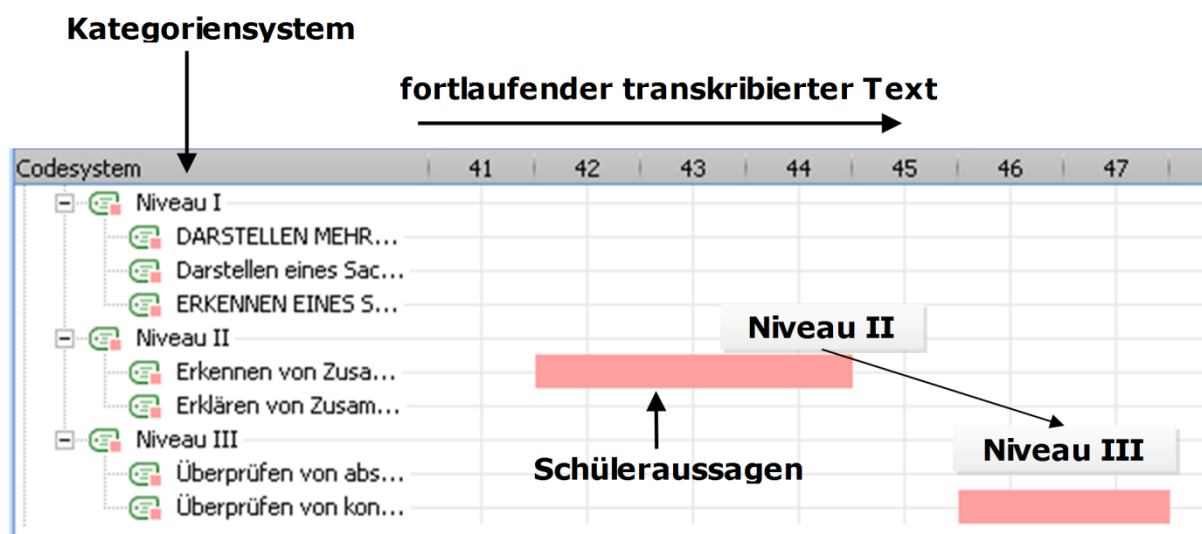


Abb. 21: Codelines als fallorientierte Visualisierungsform in *MAXQDA* zur Identifizierung aktivierter Schülervorstellungen und korrelierender Kategorien (x-Achse: Kategoriensystem, y-Achse: fortlaufend transkribierter Text).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Voraussetzungen

In der Hauptstudie wurden aus den Interviews und dem Lauten Denken 728 Schüleraussagen dem Kategoriensystem zugeordnet. Die Reliabilität der Ergebnisse zur Zweitkodierung wurden mit dem Übereinstimmungskoeffizienten *Cohens Kappa* bestimmt (Wirtz & Caspar, 2002). Eine Übereinstimmung lag vor, wenn beide Codiererinnen dieselbe Schüleraussage zur selben Kategorie geordnet hatten. Dabei liegt mit einem *Cohens Kappa* von $\kappa = 0,98$ eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den beiden Codiererinnen vor (Fleiss & Cohen, 1973).

Bei der Beschreibung der Qualität der Schüleraussagen hinsichtlich des Niveaus von Modellkompetenz ist es wichtig, dass die drei Niveaus durch mehrere Probandinnen und Probanden erreicht werden und beispielsweise das dritte Niveau nicht nur durch eine Schülerin oder einen Schüler belegt wird. Tab. 16 bestätigt diese Voraussetzung. Außerdem ist ersichtlich, dass die Schülerinnen und Schüler über mehrere parallele, unterschiedlich komplexe Vorstellungen zu jeder Teilkompetenz verfügen. In Tab. 16 ergibt die Summe der Schüleraussagen der drei Niveaus nicht die Gesamtsumme der in das Kategoriensystem geordneten Schüleraussagen, da weitere Zuordnungen zu den Schritten der Modellbildung und den Aspekten zum Wissenschaftsverständnis erfolgten.

Tab. 16: Verteilung der Aussagen der Probandinnen und Probanden (anonymisierte Abkürzungen) in absoluten Zahlen auf die drei Niveaus aller Teilkompetenzen von Modellkompetenz ($n = 354$).

Proband	Niveau I (N=169)	Niveau II (N=154)	Niveau III (N=31)
LA	17	11	0
SU	14	9	3
NA	15	10	2
TI	16	9	0
CO	16	10	6
IA	14	12	1
ST	22	26	2
LI	13	10	3
AN	10	12	1
IL	14	9	4
AM	14	19	4
MA	4	17	5

Für die Beschreibung der Unterschiede zwischen den vier Gruppen (Verbalisieren/Verbalisieren, Zeichnen/Verbalisieren, Zeichnen/Konstruieren, Verbalisieren, Konstruieren) sollte annähernd eine gleiche Verteilung getätigter Schüleraussagen vorliegen. Diese Voraussetzung wird in Abb. 22 bestätigt. Nur in der Gruppe Zeichnen/Bauen werden im Vergleich zu den anderen Gruppen ca. 20% mehr Schüleraussagen aktiviert. Das kann mit den zwei gefertigten Modellobjekten begründet werden, die konkrete Gesprächsanlässe schaffen.

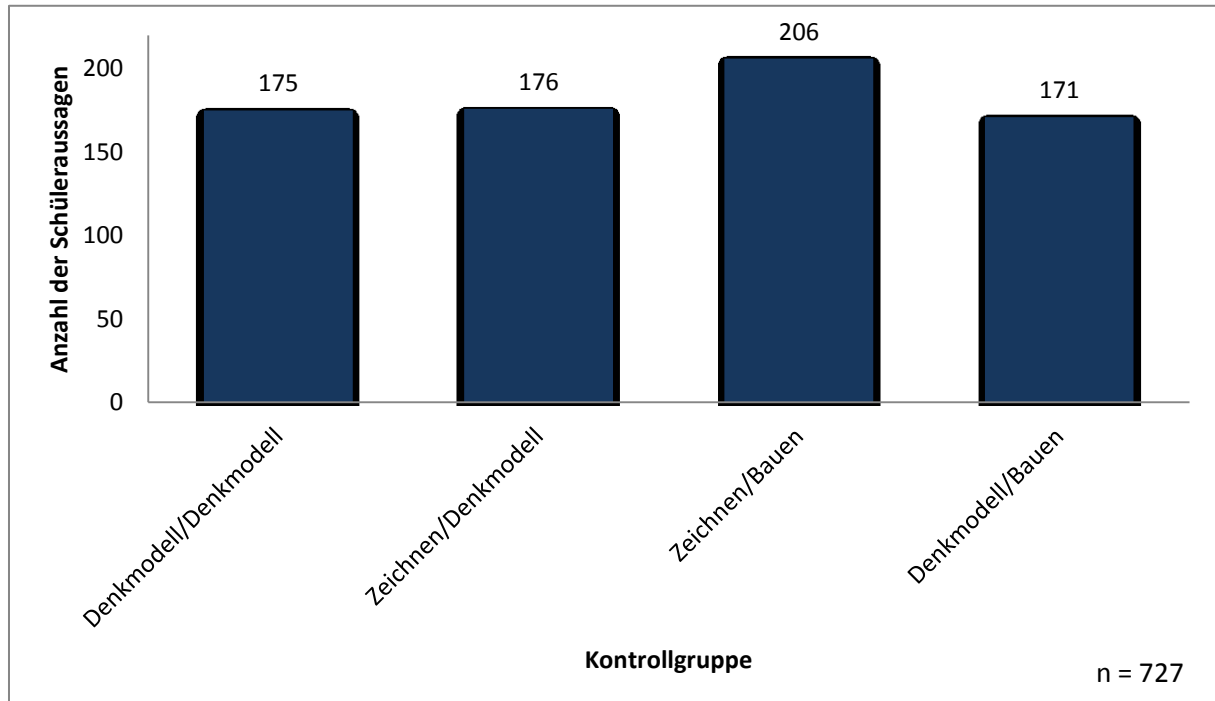


Abb. 22: Schüleraussagen pro Gruppe in absoluten Zahlen.

Tab. 17 fasst die Werte der herausgearbeiteten Kontrollvariablen zur Modellkompetenz zusammen (Kapitel 4.1, Tab. 14). Der Wert zur Modellkompetenz ist der Quotient aus der Summe gewichteter Aussagen der drei Niveaus aller Teilkompetenzen (Niveau I/Faktor 1, Niveau II/Faktor 2, Niveau III/Faktor 3) pro Probandin oder Proband und der Anzahl der Gesamtaussagen. Bei der Auswertung der Concept-Maps wurde hinsichtlich der Bestimmung von Knoten- und Kantenanzahl ein guter Übereinstimmungskoeffizient mit $k = 0,92$ ($N_{\text{Bestimmungen}} = 163$) berechnet.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine qualitative Untersuchung handelt, können mit den wenigen Werten der Kontrollvariablen keine quantitativen Korrelationsberechnungen durchgeführt werden. Doch bereits die Zusammenstellung der Werte visualisiert keine Auffälligkeiten bezüglich eines Zusammenhangs zwischen den Einzelwerten zur Modellkompetenz und den Werten der Kontrollvariablen. Die Werte streuen und es ist keine Systematik zu Probandinnen und

Probanden mit ähnlichen Kompetenzwerten und gleichzeitig ähnlich hohen Werten der einzelnen Kontrollvariablen ersichtlich (Tab. 17). Die Qualität der Aussagen zur Modellkompetenz kann in der vorliegenden Untersuchung nicht mit dem erfassten Wissenschaftsverständnis, dem figuralen oder sprachlichen Denken oder dem Fachwissen der Probandinnen und Probanden erklärt werden.

Tab. 17: Werte von Modellkompetenz und herausgearbeiteten Kontrollvariablen. Modellkompetenz als Quotient aus gewichteten Schüleraussagen pro Niveau (Niveau I/Faktor 1, Niveau II/Faktor 2, Niveau III/Faktor 3) und Anzahl der Gesamtaussagen der SuS. Bezüglich der T-Werte liegt die durchschnittliche Jahrgangsnorm für Gymnasiasten bei knapp $T=60$. Für einen besseren Überblick werden die besten Werte grün und die Schlechtesten rot dargestellt.

Probanden	Modellkompetenz	NOS: Mittelwert	sprachl. Denken: T-Wert	figurales Denken: T-Wert	Fachwissen: Komplexitätsindex zur Concept-Map
CO	1,7	4,59	64	61	0,57
MA	2,0	3,97	37	41	0,63
AM	2,0	3,86	41	54	0,78
IL	2,0	4,17	33	-	0,88
SU	1,6	3,72	45	54	0,67
LI	1,6	3,66	41	54	0,57
NA	1,5	3,83	33	35	0,71
ST	1,6	3,97	45	57	0,67
IA	1,5	3,66	30	54	0,75
AN	1,6	3,86	45	43	0,50
LA	1,4	3,59	55	33	0,50
TI	1,4	4,03	45	57	0,80

4.3.2 Prozess der Modellbildung

Alle Probandinnen und Probanden waren unabhängig von ihrer Gruppe in der Lage, selbstständig verschiedene Modelle zu konstruieren, zu testen und folgend zu ändern. Mithilfe der Informationskarte und dem eigenen Vorwissen parallelisierten sie ihre entstehenden Modelle unentwegt mit dem Original:

„So ein einzelner Luftballon erinnert mehr an eine Lunge als an ein Herz. Ich muss ihn aufpusten, um die ganzen Herzkammern auszufüllen (...). Und dann benutze ich die Strohhalm als Venen bzw. Arterien. Venen pumpen das CO₂-reiche Blut, oder?“
(MA14:51; Abb. 26).

Auch die Häufigkeitsanalysen verdeutlichen die Prominenz des Vergleichens der Modelle mit dem zugrundeliegenden Phänomen. In Abb. 23 ist ersichtlich, dass sich 38% der 72

Schüleraussagen zur Teilkompetenz *Testen von Modellen* der Kategorie „Vergleich zwischen Original und Modell“ zuordnen lassen.

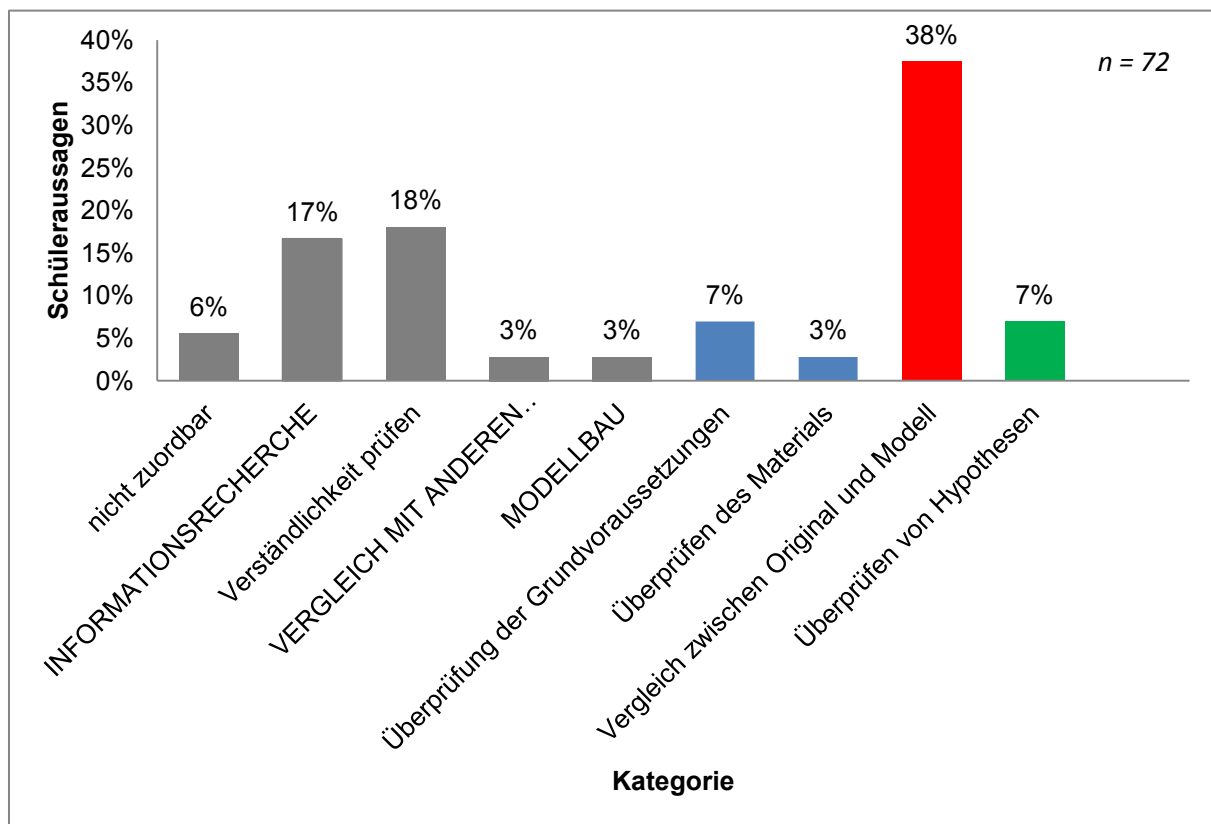


Abb. 23: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Schüleraussagen auf die einzelnen Kategorien der Teilkompetenz *Testen von Modellen* (grau: sonstiges, blau: Niveau I, rot: Niveau II, grün: Niveau III). Zur Beschreibung der anderen Kategorien siehe Codierleitfaden auf Seite 166.

Die final konstruierten Modelle hatten trotz des hypothetisch-deduktiven Vorgehens zur Modellbildung oft den Zweck, die Informationen der Infokarte zu veranschaulichen. Auf die eigenen Fragen und Vermutungen wurde wenig Bezug genommen, da sie durch die Informationen geklärt schienen: „Meine Vermutung finde ich richtig. Dass Rauchen zu Ablagerungen in den Gefäßen führt, ist ja auch schon bewiesen“ (MA 26:04). Daher wurde auch nicht die Vermutung verändert, wenn etwas am Modell nicht funktionierte oder unerwartet auftrat. Stattdessen änderten die Schülerinnen und Schüler ihr Modellobjekt oder zweifelten an sich selbst: „Und wenn das Wasser schlechter fließt, dann ist meine Vermutung richtig. Wenn es trotzdem gleich schnell fließt, dann habe ich irgendwas falsch gemacht“ (SU 09:22).

Das Ändern der Modelle erfolgte stets mit Blick auf den persönlich bestimmten Zweck und das vorherige Testen. Das zeigt, dass die Modellbildung als ein zusammenhängender Prozess durchgeführt wird. In den Schüleraussagen zum Ändern lassen sich drei verschiedene Fälle unterscheiden:

a) Die Schülerinnen und Schüler lehnen Änderungen ihres Modells eher ab, weil es ihr Wissen bestätigt und sie von ihrem persönlichen Modell überzeugt sind. Solche individuellen und für die Schüler konkreten Modelle scheinen gefestigt zu sein und bleiben Ausgangspunkt weiterer Prozesse der Modellbildung: „Es ist auf alle Fälle schwierig, sein Modell zu ändern, wenn man der Meinung ist, dass man es mit dem Modell schon verstanden hat“ (ILV 08:58).

b) Die Lernenden generieren neue Modellideen während der modellbasierten Reflexionen. Die Erwägung, ein neues Modell zu konstruieren, ist dabei abhängig von dessen Fehlern und Funktionalität:

„Das Ändern kommt darauf an, wie falsch mein Modell war. Wenn es jetzt nur eine Kleinigkeit war, dann würde ich es verbessern. Aber wenn alles überhaupt gar nicht funktioniert hat, wie ich es mir vorgestellt habe, dann würde ich ein neues Modell machen“ (CO 00:15:58-2).

c) Die Schülerinnen und Schüler ändern ihr Modell in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit. Bei der verbalisierenden Modellbildung erfolgt das Ändern der Modellideen insbesondere dann, wenn diese stark zum Phänomen idealisiert sind. Grundlage sind alternative Konstruktionsideen: „Ich möchte die Krankheit noch präziser darstellen. Ich würde einen echten durchsichtigen Schlauch nehmen, Watte als Ablagerungen und Wasser rot färben“ (SU 00:12:43-1). Die Probandinnen und Probanden der zeichnenden und gegenständlichen Modellbildung ändern hingegen oft nur Details direkt in ihren Modellobjekten, beispielsweise das Aufpusten eines Luftballons zur Darstellung Herzkammern (Abb. 26).

Zusammenfassend ist feststellbar, dass praktische Tätigkeiten zur Modellbildung trotz des hypothetisch-deduktiven Vorgehens zu einem medialen Modellbildungsprozess führten. Die Probandinnen und Probanden konstruierten ihre Modelle, um das zugrundeliegende Phänomen zu veranschaulichen.

4.3.3 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung

Die Verteilung der Schüleraussagen auf die Niveaus jeder Teilkompetenz verdeutlichen, dass die Probandinnen und Probanden der Hauptstudie, wie schon in der empirischen Erprobung der Hands-On-Aufgabe (Kapitel 3.3.5), vorwiegend aus einer medialen Perspektive auf Modelle und die Modellbildung argumentierten (Tab. 18). Einzig in der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* wurde häufiger die methodische Perspektive eingenommen. In den Teilkompetenzen *Alternative Modelle*, *Zweck* und *Ändern von Modellen* sind die konkreten Modellobjekte am häufigsten Ausgangspunkt der

Argumentationen, so dass sich die meisten Schüleraussagen auf das erste Niveau von Modellkompetenz verteilen. In den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Testen von Modellen* wird das zugrundeliegende Original mitgedacht, so dass mehrheitlich auf dem zweiten Niveau argumentiert wird. Bezüglich der *Eigenschaften von Modellen* wurden die meisten Schüleraussagen in die konkrete Kategorie *Modell als fokussierte Darstellung* kodiert, wobei die Probandinnen und Probanden viel Wert auf übereinstimmende Funktionen zwischen Modell und Original legen.

Tab. 18: Verteilung der Schüleraussagen in absoluten Zahlen auf die Niveaus der einzelnen Teilkompetenzen mit konkreten Schülerbeispielen zur am häufigsten genannten Kategorie (*Sonstiges:* Aussagen können einer Teilkompetenz, aber keinem Niveau zugeordnet werden).

	initial	Niveau I	Niveau II	Niveau III	sonstiges	nicht zuordbar
Eigenschaften von Modellen (N _{absolut} =71)	0	28	37	1	5	0
Beispiel Niveau II „Modell als fokussierte Darstellung“	Man kann zum Original unähnliche Modelle nutzen, solange das gleiche Prinzip vorliegt. Ich hatte ja vorhin das Herz auch an so einer Wasserpumpe erklärt. (MA 00:29:27-9)					
Alternative Modelle (N _{absolut} =68)	0	34	12	1	19	2
Beispiel Niveau I „Unterschiedliche Modellobjekteigenschaften“	Die Modelle unterscheiden sich dadurch, dass immer andere Materialien genommen werden. (LI S 00:30:20-8)					
Zweck von Modellen (N _{absolut} =190)	0	60	46	22	61	1
Beispiel Niveau I „Darstellen eines Sachverhalts“	Ein Modell ist ein Objekt, an dem man jemanden zeigen kann, worum es geht bei einer gewissen Thematik. Also man kann zum Beispiel (den) Bau von Molekülen gut an Modellen darstellen oder die DNA. (IA 00:00:11-3)					
Testen von Modellen (N _{absolut} =72)	0	7	27	5	29	4
Beispiel Niveau II „Vergleich zwischen Original und Modell“	Wenn man ein Modell überprüft, guckt man, wie es beim Original ist. Oder man guckt sich erst sein Modell an, wie es da funktioniert. Und dann guckt man sich das Original an. Wenn das relativ gleich aussieht, ist das ein gelungenes Modell. SU 00:24:32-4					
Ändern von Modellen (N _{absolut} =122)	8	40	33	2	39	0
Beispiel Niveau I „Verbesserung des Modellobjekts“	Wenn mein Modell nicht brauchbar ist, würde ich entweder versuchen etwas zu verbessern. Zum Verbessern würde ich zum Beispiel wieder den Schlauch durchsichtig machen und das Wasser rot. SU 00:12:43-1					

Tab. 18 verdeutlicht außerdem, dass das durch Grünkorn und Team (2014) beschriebene initiale Niveau *kein Ändern von Modellen* auch in der vorliegenden Studie mit 8% der Schüleraussagen innerhalb dieser Teilkompetenz bestätigt wird. Unter *Sonstiges* wurden die Kategorien zusammengefasst, die zwar einer Teilkompetenz, aber keinem konkreten Niveau zugeordnet werden konnten. Dabei lässt die höhere Anzahl im Projekt induktiv hinzugefügter Kategorien, insbesondere in den modellbildenden Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* vermuten (Kapitel 3.3.5), dass hier eine größere Kontextabhängigkeit vorliegt als in den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle*. Unter *Sonstiges* wurde in alle Teilkompetenzen auch die prominente Kategorie *Modelle für Verständlichkeit* geordnet. Dabei steht immer der didaktische Nutzen von Modellen im Vordergrund der Argumentation bei gleichzeitig fehlender oder uneindeutiger Begründung, die eine Zuordnung zu einem Niveau erlauben würde:

Tab. 19: Kategorie „Modelle für Verständlichkeit“ als prominente Begründung zu jeder Teilkompetenz. In Prozent sind die Anzahl der Aussagen zu dieser Kategorie innerhalb der Teilkompetenz angegeben.

Eigenschaften von Modellen (7%)	<i>Wenn die Menschen das verstehen, dann kann man abweichende Modelle zum Herzinfarkt benutzen. Aber wenn nicht, dann ist es quatsch, weil (dann) kann man es sich ja nicht so gut vorstellen. (SU 00:16:28-1)</i>
Alternative Modelle (28%)	<i>Ja, es kann für ein Original mehr als ein Modell geben, weil jeder verschiedene Sachen gut aufnimmt oder sieht. Weil ja jeder auch verschieden ist, gibt es auch verschiedene Modelle. (NA 00:33:13-0)</i>
Zweck von Modellen (27%)	<i>Mit einem Modell kann man Leuten, die was über die Thematik wissen wollen, das näher beibringen. (IA 00:30:41-9)</i>
Testen von Modellen (18%)	<i>Man kann ein Modell testen, indem man die Leute fragt, ob sie es verstanden haben oder nicht. (IA 00:30:53-0)</i>
Ändern von Modellen (15%)	<i>Ich ändere mein Modell, wenn ich merken würde, dass es überhaupt nicht verständlich ist. Und wenn Leute das überhaupt nicht nachvollziehen können, dann müsste ich es halt überarbeiten. (TI 00:07:18-4)</i>

Diese ähnlichen Argumentationen in allen Teilkompetenzen verdeutlichen eine globale Perspektive der Probandinnen und Probanden auf die mediale Modellbildung. Bei dieser didaktisch-medialen Perspektive argumentieren die Schüler aus der Lehrerperspektive. Sie konstruieren und nutzen ihre Modelle trotz des hypothetisch-deduktiven Vorgehens zum Veranschaulichen und Erklären für Lernende. Das Testen erfolgt, indem die Modelladressaten nach ihrem Verständnis über das Modell befragt werden (*didaktisches Testen*). Anschließend werden die Modelle für eine bessere Verständlichkeit geändert, beispielsweise durch eine Vereinfachung (*didaktisches Ändern*). Die Schülerinnen und Schüler sehen dabei gegenständliche Modelle als besonders hilfreich an: „Und das kommt auch besser an, als wenn [man] ein Bild malt oder das als Abbildung ausdrückt“ (IA 00:10:55-9).

Von dieser didaktisch-medialen Perspektive lässt sich die autoritäre Perspektive unterscheiden. Hier argumentieren die Probandinnen und Probanden aus der Schülerperspektive mit einem naiven Wissenschaftsverständnis (Kremer, 2010). Sie gehen davon aus, dass alles Wissen bereits erforscht ist. Daher sei die Recherche nach Informationen zum einen bedeutend, um das eigene Modell zu testen. Zum anderen erfolgt sie als Folge des negativen Testens, um Änderungen durchführen zu können. Konkret würden die Schülerinnen und Schüler selbstständig nach Sachinformationen über das Original oder bereits existierenden wissenschaftlichen Modellen zur Thematik in Büchern oder im Internet suchen. Als zweite Möglichkeit würden sie Autoritätspersonen wie Lehrkräfte oder Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach ihrem Wissen befragen:

„Man kann Modelle überprüfen, indem man eigene Modelle studiert Wissenschaftlern vorsetzt und fragt, was die davon halten. Die müssen es ja wissen, wie es funktioniert und ob das brauchbar ist. Wenn der Wissenschaftler davon noch nichts weiß, kann man es auch nicht überprüfen“ (AM 00:05:36-5).

Tab. 20 fasst die didaktisch-mediale und die autoritäre Perspektive zusammen:

Tab. 20: Zwei prominente Schülerperspektiven auf Modelle mit jeweils unterschiedlichem Fokus.

	Didaktisch-mediale Perspektive	Autoritäre Perspektive
Zweck	Lehrerperspektive: Modelle zur Veranschaulichung	Schülerperspektive: Modelle zum Lernen
Testen	Adressaten nach Verständnis befragen	Informationsrecherche (medial oder personal)
Ändern	verständlicher gestalten	Integration der Informationen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Durchführung des Prozesses der Modellbildung trotz des hypothetisch-deduktiven Vorgehens mehrheitlich Schülervorstellungen über Modelle als Medien zum Zweck der Veranschaulichung aktivierte.

4.3.4 Grafische, gegenständliche und verbale Modellbildungen

Zeichnen

Das Zeichnen konfrontierte die Schülerinnen und Schüler damit, dass Modelle nicht dreidimensional sein müssen. Sie versuchten, die vorgegebenen Informationen möglichst genau in ihre Zeichnung zu integrieren. Daher fokussieren die Zeichnungen meist den Prozess der Arteriosklerose. Anschließend wurde in den Zeichnungen versucht, aus den Gefäßen „herauszuzoomen“, um die Lage der Blutgefäße im Körper darzustellen. Während des Zeichnens wendeten die Schülerinnen und Schüler ihr eigenes Vorwissen an. Dabei kam es zu spontanen Assoziationen, denen eine Analogiebildung folgte. Ein Schüler stellte sich den Herzinfarkt in Abb. 24 als eine verstopfte Pipeline vor:

„Die Herzkranzgefäße sind die Pipelines, die das sauerstoffreiche Blut transportieren. Durch Fette aus der Nahrung werden die Pipelines verstopft. Dann kann das sauerstoffreiche Blut nicht mehr den Herzmuskel versorgen“ (IA 1:31).

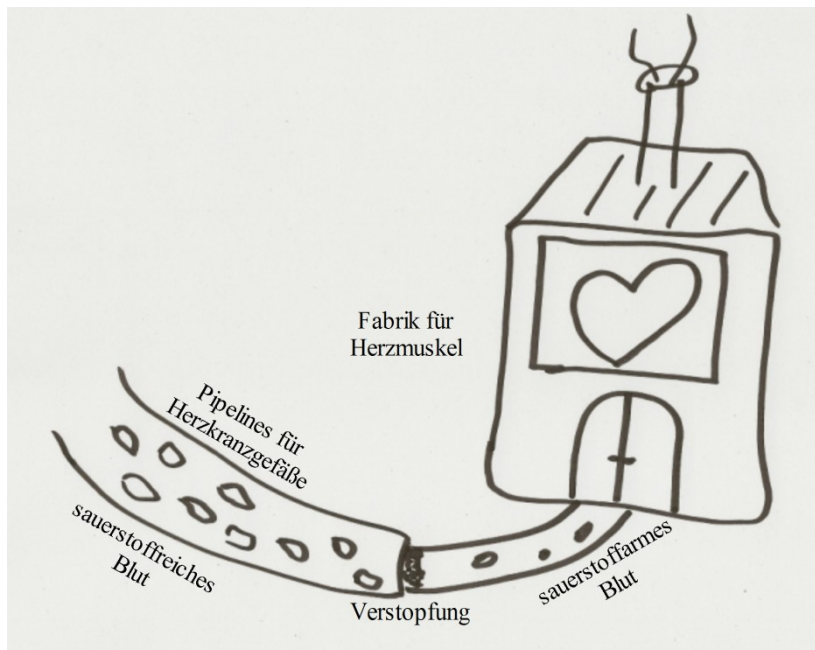


Abb. 24: Schülerzeichnung zum Kontext *Arteriosklerose* als Analogie zu einer Fabrik mit Pipeline.

Diesem Schüler war der sehr kreative und subjektive Charakter seines Modells bewusst. Das zeigt seine Antwort zum Ändern seines Modells: „(Ich ändere mein Modell), vielleicht wenn irgendwer schon so eine Idee hatte und ich (es) merke. Ich müsste es ändern, wenn er Patent darauf hat“ (IA S 00:14:25-3).

Als Schwierigkeit beim Zeichnen nannten einige Schülerinnen und Schüler die Darstellung von Funktionen in den Strukturmodellen: „Ja, und wie jetzt der Blutfluss im Herz aussieht, weiß ich. Ich habe es im Kopf, aber ich glaube zeichnerisch kriege ich das jetzt nicht ganz so umgesetzt“ (AN 09:24). Als Ausweg dienten mündliche Erklärungen zu den Zeichnungen.

Gegenständliche Modellkonstruktion

Die Schülerinnen und Schüler bauten zwei verschiedene gegenständliche Modellarten. Drei der sechs Probandinnen und Probanden dieser Gruppe konstruierten ein zweischrittiges Modell, das sich sukzessive aufbaut und den Prozess der Arteriosklerose zu Beginn und am Ende fokussiert (Abb. 25).

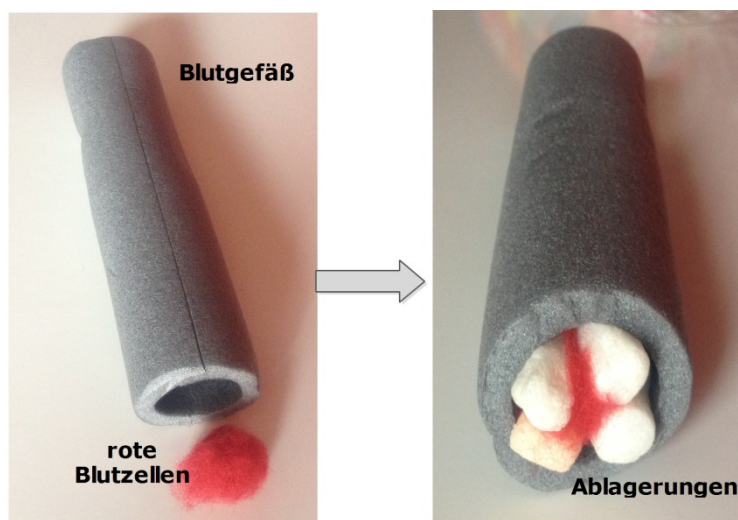


Abb. 25: Zweischrittiges Modell der Arteriosklerose. Links: gesundes Blutgefäß, rechts: Blutgefäß mit Ablagerungen.

Diese Modelle in zwei Schritten kommen ohne Erklärungen des Modellierers nicht aus: „Ich müsste mein Modell während des Erklärens vervollständigen, weil ich als erstes zeigen würde, wenn es alles ganz normal ist, dass das Blut dann auch so durchfließt“ (IL 00:13:02-0).

Die anderen Probandinnen und Probanden konstruierten entsprechend ihrer Vorstellungen idealisierte Modelle (Abb. 26). Dabei wurden Anforderungen an den Modellnutzer betont: „Hier oben kommt das Blut so durch. Ich stell mir den Herzmuskel so dick und rund vor. Man muss ein bisschen Fantasie haben, glaube ich. Dann funktioniert das auch“ (AN 00:33:46-3).

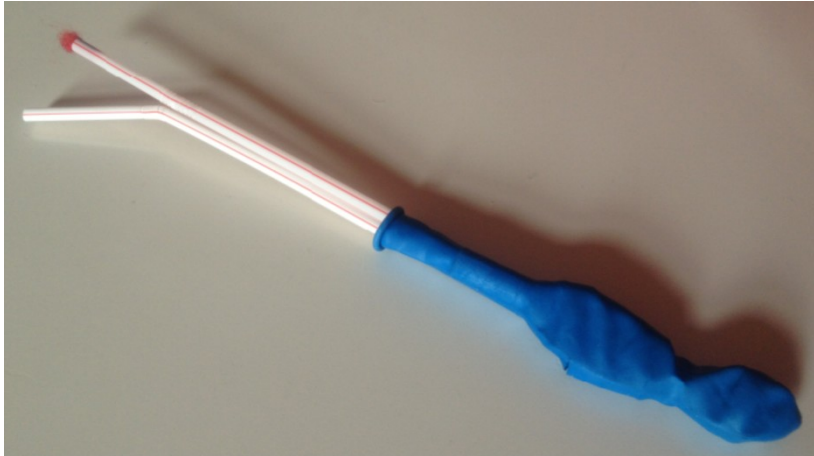


Abb. 26: Kreatives Schülermodell zum Kontext *Arteriosklerose* (Ballon: Herz; Strohhalm: Blutgefäße; eins mit Ablagerungen).

Es zeigt sich, dass die Modellbildung mit konkreten Materialien dafür geeignet ist, die Änderung von Modellen zu thematisieren. Während der Modellkonstruktion wurden unentwegt Änderungen am Modellobjekt vollzogen. Desweiteren scheint diese Form der Modellbildung die Evaluation von Modellen zu forcieren. Die gegenständlichen Modellobjekte wurden hinsichtlich ihrer Anschaulichkeit, Funktion oder ihrer Übereinstimmung mit dem Original bewertet: „Ich habe mal in irgendeiner Dokumentation gesehen, dass diese Ablagerungen in dem Rohr wie Fett aussehen. Aber meine ist jetzt eben bunt“ (ST 38:23). Nach negativen Bewertungen werden oft Verbesserungsvorschläge gemacht.

Verbalisieren

Allgemein äußerten die Schülerinnen und Schüler keine großen Schwierigkeiten, sich Modelle rein gedanklich vorzustellen und zu beschreiben. Die zugrundeliegenden Ideen sind jedoch unterschiedlich kreativ. Einige Probandinnen und Probanden konnten sich die Arteriosklerose als ein Funktionsmodell vorstellen, ein Beispiel ist die Analogie zu einem Biberdamm:

„Und dann stell ich mir das wie so eine Art Staudamm (vor), wie bei so einem Biber mit so einem ganzen Stamm. Da kommt nichts mehr durch. Die Luft kommt nicht mehr durch und dann wird dieses Blutgefäß so grau, weil es abstirbt“ (IL 05:21).

Solche individuellen Modelle haben für die Schülerinnen und Schüler einen persönlichen Zweck. Sie dienen a) der Bestätigung des eigenen Verständnisses oder b) zur Kommunikation dieses Verständnisses:

a) „...weil ich durch mein selbstgestelltes Modell jetzt selber eigentlich weiß, dass ich es verstanden habe. Das ist so eine Art Bestätigung für mich“ (IL 00:07:05-8),

b) „Dieses Modell setze ich wahrscheinlich zum Darüber-Diskutieren ein. Also wenn ich sowas jetzt in einer Runde oder so hätte - dass dadurch das Bild im Kopf über den Herzinfarkt immer schärfer wird (...) und man seine Vermutungen anhand der Vorstellung dann äußert“ (NA 00:10:03-4).

Im Vergleich zur Gruppe Zeichnen oder Konstruieren nannte die Gruppe Verbalisieren vielfältigere Einsatzmöglichkeiten ihrer Modelle. Während die konstruierten Modellobjekte vornehmlich in der Schule Anwendung finden sollten, wurde für die gedanklichen Modelle auch ein Einsatz in Universitäten, Forschungseinrichtungen oder bei Krankenkassen zu Aufklärungszwecken und bei Ausstellungen beschrieben. Zudem scheinen die gedanklichen Modelle variabel auf andere Sachverhalte übertragbar zu sein. Eine Schülerin erklärt sich mit ihrem Modell die Thrombose ihres Großvaters und eine Andere erklärt „dass man einfach viele Sachen zum Herz erklären kann mit diesem Modell“ (TI 00:11:40-1).

Für diese vielfältigen Einsatzmöglichkeiten wurden während der Modellbildung abstrakte Schülermodelle zunehmend konkretisiert oder neu erdacht.

Neben diesen allgemeinen Merkmalen der verbalisierenden Modellbildung zeigen sich auch Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern, die ihr mentales Modell bei der ersten Modellbildung verbalisierten und denen, die bei der zweiten Modellbildung ein ausgedachtes gegenständliches Modell beschrieben (Kapitel 4.1). Bei der ersten verbalen Modellbildung ohne Materialien griffen die Schülerinnen und Schüler vorwiegend auf bekannte Schulmodelle und Fernseherfahrungen zurück. Es wurden dreidimensionale Strukturmodelle beschrieben, die bei Vorlagen aus dem Fernsehen sehr ähnlich zum Original sind. Dabei wurden auch Schwierigkeiten benannt, sich innere Strukturen vorzustellen. Innere Abläufe wurden daher von einigen Schülerinnen und Schülern oberflächlich beschrieben und äußere Umstände sehr detailreich. Im Laufe des Lauten Denkens wurden die Modelle immer konkreter im Sinne eines „Reinzoomens“ in die Blutgefäße. Die Aufgabe, Denkmodelle mit konkreten Materialien zu beschreiben, gelang den Probandinnen und Probanden trotz fehlender Materialien. Sie beschrieben fokussiert den Ablauf der Arteriosklerose mit einfachen Alltagsmaterialien, wie Schläuchen oder Flaschen. Eine zusammenfassende Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen der beschriebenen drei Modellbildungsformen zeigt Tab. 21 auf Seite 122.

Gruppenunterschiede

Zusätzlich zu den qualitativen Analysen bezüglich der Unterschiede zwischen den einzelnen Modellbildungsformen Zeichnen, Verbalisieren und gegenständliches Konstruieren erfolgten Häufigkeitsanalysen zur prozentualen Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus jeder Teilkompetenz. Das Ziel war die Beschreibung von Unterschieden zwischen den vier Gruppen Zeichnen/Konstruieren,

Verbalisieren/Konstruieren, Zeichnen/Verbalisieren/ und Verbalisieren/Verbalisieren (Kapitel 4.1). Als Ergebnis weisen nur die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Testen von Modellen* nennenswerte Unterschiede auf. Hinsichtlich der *Eigenschaften von Modellen* wird deutlich, dass die Probandinnen und Probanden mit einer Kombination aus verbaler Modellbildung im ersten Schritt und folgender gegenständlicher Modellbildung häufig den idealisierten Charakter von Modellen zum zugrundeliegenden Original beschrieben (Niveau II). In dieser Gruppe verteilen sich auffällig wenige Schüleraussagen auf das erste Niveau (Abb. 27).

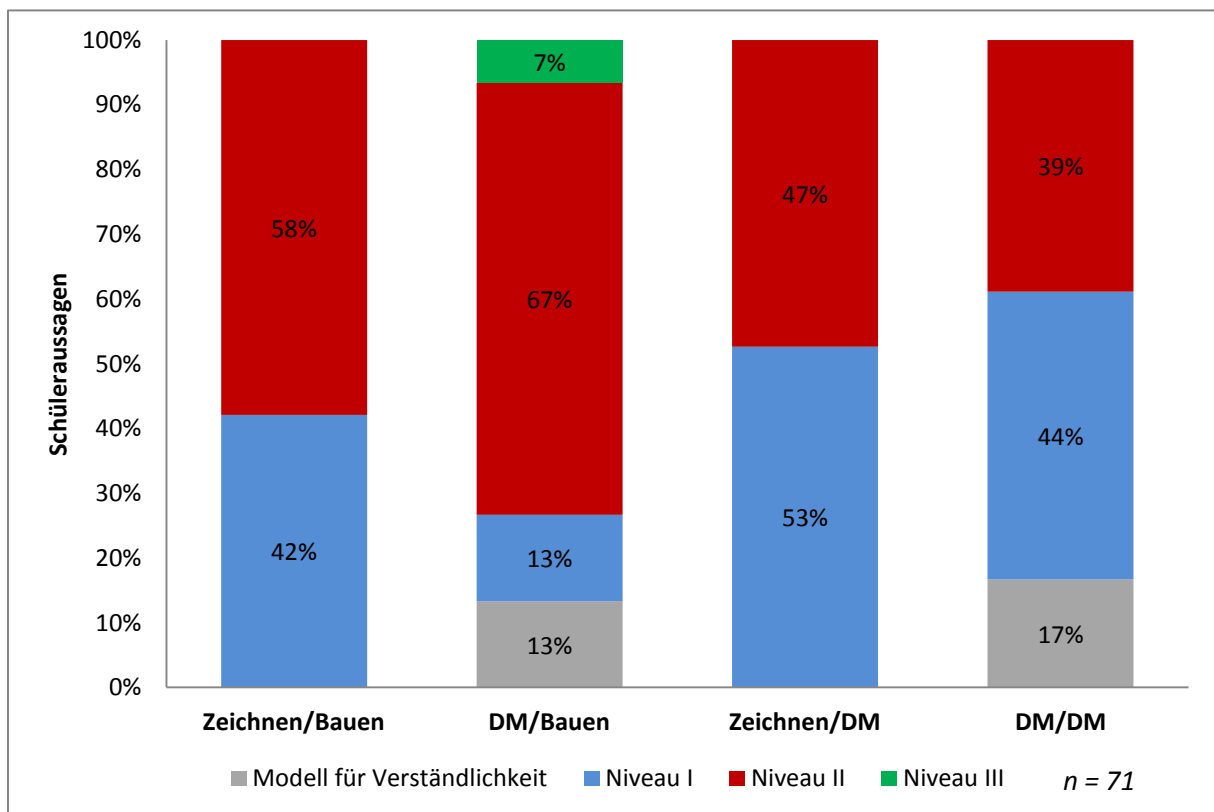


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus in der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* (DM=Denkmodell/Gruppe ´Verbalisieren`).

Betrachtet man in Abb. 28 die Verteilung der Schüleraussagen auf die Niveaus der Teilkompetenz *Testen von Modellen* wird deutlich, dass insbesondere Zeichnungen und gegenständliche Modelle das Parallelisieren mit dem zugrundeliegenden Original fokussieren. Die Gruppe Zeichnen/Konstruieren weist die meisten Schüleraussagen auf dem zweiten Niveau dieser Teilkompetenz auf. Probandinnen und Probanden, die ihre Modelle im ersten und zweiten Schritt der Modellbildung verbalisierten und kein konkretes Modellobjekt externalisierten, äußerten die wenigsten Aussagen zum Parallelisieren ihrer Modelle mit dem Original.

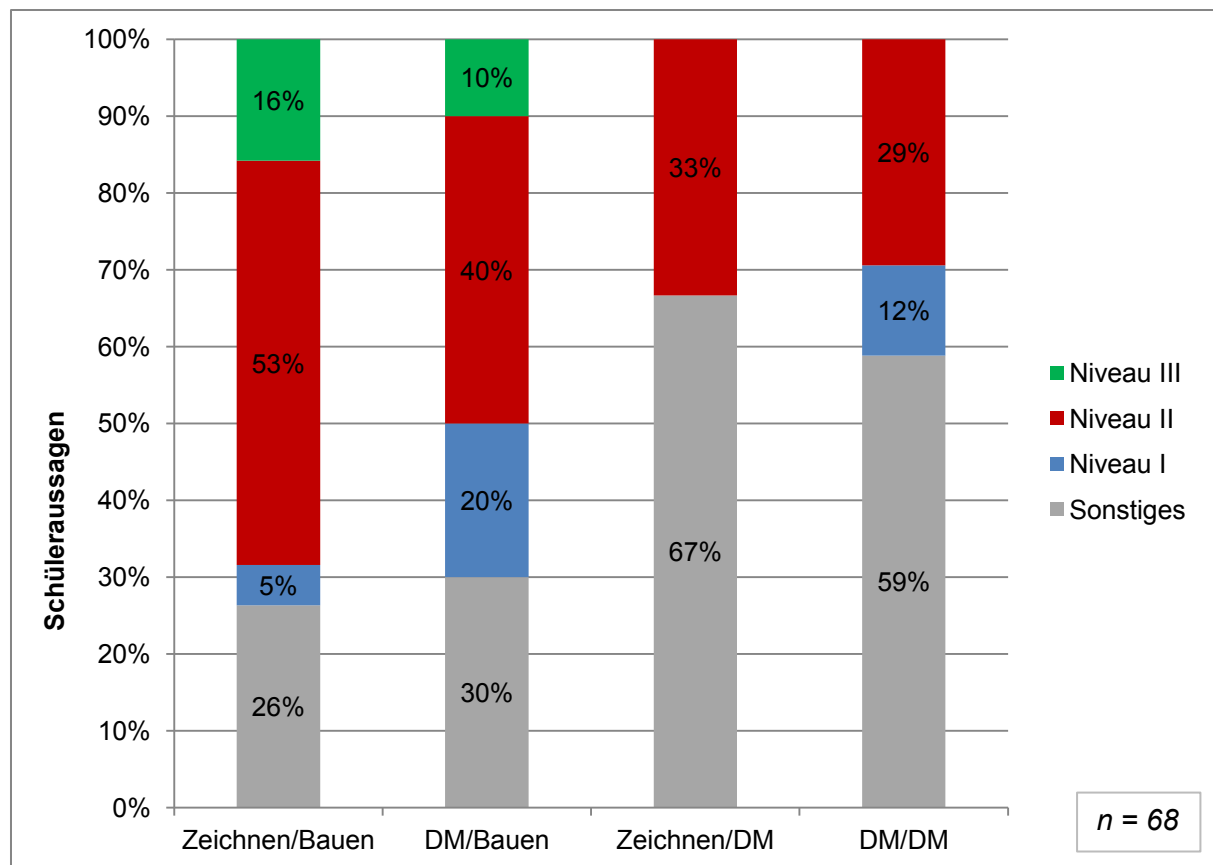


Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Schüleraussagen je Gruppe auf die Niveaus in der Teilkompetenz *Testen von Modellen* (DM=Denkmodell).

4.3.5 Angebote zur Aktivierung epistemologischer Vorstellungen

Trotz der mehrheitlich medialen Perspektive auf Modelle zeigen die Codelines, dass drei Reflexionsangebote vermehrt epistemologische Schülervorstellungen über Modelle als Erkenntnismethoden fördern:

1. Präsentation alternativer Modelle aus dem Kontext Schule und Wissenschaft

Die Schüler sprachen über den gedanklichen, subjektiven und kreativen Charakter von Modellen: „Es gibt diese verschiedenen Modelle, weil jeder seine eigene Kreativität und seine eigenen Vorstellungen hat, wie so ein Herzinfarkt aussehen kann“ (AM 00:01:07-5). Zudem verdeutlichen die präsentierten Modelle den idealisierten Charakter: „Ja, die sehen zum Beispiel gar nicht nach einem Herzinfarkt aus“ (TI 00:15:48-5).

2. Interviewfragen zum Testen und Ändern eigener Modelle

Die Schülerinnen und Schüler setzten sich vertieft mit ihren konstruierten Modellen auseinander und reflektierten deren Grenzen. Folgender Interviewausschnitt verdeutlicht einen kognitiven Konflikt zum Ändern von Modellen:

Interviewerin: „Fallen dir noch andere Gründe dafür ein, dass du dein Modell ändern müsstest?“

Schülerin: „Also, das soll ein Modell sein, um zu wissen, was es schon wirklich gibt und was nachgewiesen ist, oder?“

Interviewerin: „Warum hast du die Frage gestellt?“

Schülerin: „Naja, keine Ahnung. Es kann ja immer sein, dass neues Wissen entdeckt und entwickelt wird. Und dafür braucht man dann auch neue Modelle. Da könnte ich jetzt nicht recherchieren und mich an Sachen orientieren, die es schon gab. Dann würde ich versuchen, das selber rauszufinden. Ich würde Experimente machen, um das nachzuweisen. Und würde dann zu meinem eigenen Ergebnis kommen und das dann als Modell darstellen“ (CO 00:09:57- 00:11:13-2).

Diese Schülerin würde Modelle erst am Ende der Erkenntnisgewinnung nutzen, um die Ergebnisse des Experimentierens zu visualisieren. Modelle als direkte Forschungswerkzeuge werden erst durch den folgenden Interventionsschritt reflektiert:

3. Reflexion zum Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung

Bei der Interviewfrage „Beschreibe, wie wohl Wissenschaftler mit Modellen arbeiten“ verließen einige Probandinnen und Probanden die mediale Perspektive und machten sich Gedanken über die modellbasierte Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Der zugrundeliegende Kontext Arteriosklerose/Herzinfarkt erweist sich dabei als förderlich:

„Wissenschaftler probieren mit den Modellen neue Behandlungsmöglichkeiten aus. Sie bauen die Modelle dann bestimmt direkt dafür, damit sie es nicht an Menschen probieren müssen. Und wenn es nicht funktioniert, was sie probieren, suchen sie den Grund dafür und versuchen eine andere Möglichkeit zu finden“ (AM 22:51).

4.4 Diskussion

Die zugrundeliegende Untersuchung hatte das Ziel zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der selbstständigen Modellbildung zur Aktivierung des Verständnisses über Modelle als Erkenntnismethoden aufgezeigt werden kann. Im experimentellen Design wurde zudem untersucht, wie unterschiedliche externe Modellbildungsprozesse die Schülervorstellungen zu Modellen beeinflussen. Zusammenfassend lassen sich folgende Ergebnisse diskutieren:

4.4.1 Prozess der Modellbildung

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass die Probandinnen und Probanden trotz des hypothetisch-deduktiven Vorgehens vorwiegend einen medialen Modellbildungsprozess durchführten (Kapitel 4.3.2). Die erste Hypothese (S. 52) wird damit verworfen. Eine mögliche Begründung dafür ist, dass die Hands-On-Aufgabenstruktur nicht die notwendigen Voraussetzungen zur Aktivierung eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozesses erfüllt. Um das zu vermeiden, erfolgten eine theoretisch hergeleitete Konzipierungsphase und verschiedene Schritte zur Überprüfung im Rahmen von Expertendiskussionen, Unterrichtserprobungen sowie einer empirischen Erprobung (Kapitel 3). Dennoch erwies sich bei der Hands-On-Aufgabenstruktur in erster Linie die Präsentation der Informationskarte als hinderlich für eine erkenntnisgenerierende Modellbildung. In der Untersuchung war sie notwendig, um den Einfluss von Fachwissen so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig löste sie einen veranschaulichenden anstelle eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess aus, da sie bereits Antworten zu den Schülerhypothesen vorgab. Im Schulkontext sollten Informationen in Form gestufter Lernhilfen nur bei Bedarf und zu einem späteren Zeitpunkt gereicht werden. Auch Windschitl und Kolleginnen und Kollegen (2008) betrachten die Phase der Hypothesenaufstellung bezüglich aller theoretisch hergeleiteten Kriterien zur Konstruktion der Hands-On-Aufgabenstruktur (Kapitel 3.1.1) als wichtigste und kritischste Grundvoraussetzung zur Realisierung der wissenschaftlichen Modellbildung. Schülerinnen und Schüler müssen testbare und sinnvolle Hypothesen zum Phänomen nicht nur generieren, sondern zur Kontrolle und Diskussion vor allem kommunizieren:

„It is important that the hypothesis is testable, but this criterion is secondary to the idea that the hypothesis must make sense within the context of a larger understanding of the phenomenon. Essentially, the hypotheses' place within a larger model helps ensure that it is not arbitrary. This is why we consider this set of conversations critical in MBI [model based inquiry], even though some scientists do not explicitly articulate hypotheses for testing“ (Windschitl et al., 2008, S. 957).

Eine weitere Begründung für den medialen anstelle eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess ist, dass der Prozess zu große Anforderungen an Schülerinnen und Schüler stellt, selbst an die für die Untersuchung gewählten Probandinnen und Probanden der zehnten Jahrgangsstufe. Diese Erklärung wird durch die Ausführungen in Kapitel 2.5.3 ‚Gründe für die Qualität der Schülervorstellungen‘ gestützt. Demnach steht die vorherrschende modellbasierte Unterrichtspraxis im Konflikt mit der erkenntnisgenerierenden Modellbildung. Schülerinnen und Schüler sind meist Konsumenten eines von Autoritäten vermittelten, als unveränderlich dargestellten Wissens, das sie infolge nicht selbstständig konstruieren, testen und ändern (Driver et al., 1996; Crawford & Cullin, 2005; Henze et al., 2007). Daher stellen Tätigkeiten zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung für Schülerinnen und Schüler keine gewöhnliche Routine dar, so dass selbst unterstützende und strukturierende Maßnahmen nicht automatisch zu sinnvollen Handlungen führen. Diese sind zudem abhängig von der Motivation, dem Verständnis über den Kontext und den Charakter von Modellen sowie den epistemologischen und ontologischen Überzeugungen (Kapitel 2.1.1) der modellbildenden Personen (Schwarz et al., 2009). Es scheint, als benötigen Schülerinnen und Schüler viel Zeit und die Erprobung in verschiedenen Anwendungskontexten, um den Prozess der erkenntnisgenerierenden Modellbildung nicht nur nachzuvollziehen, sondern auch selbst ausüben zu können (Harrison & Treagust, 2000; Schwarz & White, 2005; Halloun, 2006).

Trotz der mehrheitlich medial ablaufenden Modellbildungsprozesse liefert die vorliegende Studie wichtige Hinweise, insbesondere für den Schritt *Ändern von Modellen* (Kapitel 2.3.2., Tab. 4). Entsprechend des Kompetenzmodells der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) werden Modelländerungen aufgrund von Mängeln am Objekt selbst (Niveau I), durch zusätzliche Erkenntnisse (Niveau II) oder wegen falsifizierter Hypothesen über das Original vollzogen (Niveau III). In der Untersuchung wurden Änderungen auf Grundlage anderer Konstruktionsideen oder in Form der Detaillierung der Modellobjekte dem ersten Niveau von Modellkompetenz zugeordnet. Die Generierung völlig neuer Modellideen zur Untersuchung neuer Fragen über das Phänomen wurde als eine Folge der Falsifizierung einer Hypothese betrachtet und in das dritte Niveau eingestuft. In solchen Fällen ist es wichtig, dass Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit erhalten, im Prozess der Modellbildung entstandene Fragen mithilfe neuer Modelle zu untersuchen, um in Bezug auf das Wissenschaftsverständnis die Entwicklung von Wissen zu verstehen (Carey & Smith, 1993; Lehrer & Schauble, 2006; Lederman, 2008). Im Schulkontext sind die Möglichkeiten hierzu aufgrund materieller und zeitlicher Einschränkungen begrenzt. Abhilfe könnte hier die verbalisierende Modellbildung in Form von Klassendiskussionen schaffen (Kapitel 4.3.4). Zusätzlich zu den drei Niveaus von Modellkompetenz wurde eine ablehnende Haltung einiger Probandinnen und Probanden

bezüglich des Änderns ihrer Modelle festgestellt, was das durch Grünkorn et al. (2014) beschriebene initiale Niveau bestätigt. Doch im Gegensatz zu Grünkorns Probandinnen und Probanden, die bei den offenen Aufgaben Schwierigkeiten hatten, Gründe für ein Ändern von Modellen zu nennen und nur vage Antworten gaben (Grünkorn et al., 2014), äußerten die Probandinnen und Probanden der vorliegenden Untersuchungen viele Anlässe zum Ändern von Modellen. Das zeigt, dass die Konstruktion individueller Modellobjekte konkrete Ideen für ein Ändern von Modellen auf dem ersten und zweiten Niveau von Modellkompetenz aktiviert.

Ordnet man die drei Fälle zum *Ändern von Modellen* dem Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002, Kapitel 2.1.4) zu, wird deutlich, dass das Schema für die Anwendung sowohl im schulischen Kontext als auch im Forschungskontext konkretisiert werden muss. Das Ändern von Modellen auf Grundlage anderer Konstruktionsideen ist eine Form des Schrittes ‚Verändern des mentalen Modells‘. Schüleraussagen zu neuen Modellideen sind analog zum Schritt ‚Verwerfen des mentalen Modells‘. Gleichzeitig ändern viele Probandinnen und Probanden, speziell der grafischen und gegenständlichen Modellbildungsgruppe, viele Kleinigkeiten direkt in ihren Modellobjekten, ohne große Veränderungen im mentalen Modell zu vollziehen (z. B. Aufpusten eines Luftballons zur Darstellung von Herzkammern, Kapitel 4.3.4). Auch Maia und Justi (2009, S. 615) unterscheiden „cases where students only add some details to a given model, thus not changing the main attributes of their model.“ Diese zusätzliche Perspektive *Verändern des externen Modellobjekts* neben dem *Verändern des mentalen Modells* und dem *Verwerfen des mentalen Modells* sollte im Prozess der Modellbildung Beachtung finden (Abb. 29).

Die in der Untersuchung frequentierten Formen des Änderns von Modellen (kein Ändern, Konkretisierung des Modellobjekts und neue Modellideen) weisen Analogien zu den durch Chinn und Brewer (1993) empirisch beschriebenen drei Fällen im Umgang mit neuen Daten bei der Erkenntnisgewinnung auf. In ihrer Studie änderten einige Probandinnen und Probanden ihre Theorien trotz neuer Daten nicht, so wie in der vorliegenden Untersuchung das Ändern von Modellen abgelehnt wurde. Chinn und Brewer (1993) unterschieden außerdem die oberflächliche (*Peripheral Theory Change*) von der endgültigen Theorieänderung (*Theory Change*), wenn nur kleine Änderungen an einer Theorie vollzogen werden, ohne den Haupttenor zu verwerfen. Hier zeigen sich Parallelen zur Modifizierung des mentalen oder externalen Modells. Andere Fälle hingegen, bei denen das mentale Modell wegen neuer Ideen verworfen wurde, sind analog zur Änderung einer Theorie aufgrund neuer alternativer Ideen. Diese Gemeinsamkeiten bestätigen andere Untersuchungen dahingehend (Gieryn, 1988; Nersessian, 2005; Duschl & Grandy, 2008), dass unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen mit jeweils eigenen

Fragestellungen und Methoden in der Art und Weise der Erkenntnisgewinnung zusammentreffen:

“Contemporary studies of scientific work have demonstrated that experimentation and the broader enterprise of inquiry are becoming routinely situated in model building, testing, and revising” (Windschitl et al., 2008, S. 944).

Bezüglich der Teilkompetenz *Testen von Modellen* kam die vorliegende Untersuchung zu dem Ergebnis, dass die Probandinnen und Probanden bei der Durchführung der Modellbildung die entstehenden Modellobjekte unentwegt mit dem Original vergleichen. Grünkorn (2014, S. 146) vermutet diesbezüglich, dass das Parallelisieren eine Art Grundfähigkeit ist, die möglicherweise die Ausprägung von Modellkompetenz beeinflusst.

4.4.2 Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung

Als Folge der beschriebenen Durchführung der modellbildenden Tätigkeiten zum Zweck der Veranschaulichung eines Phänomens kann kein Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung und der Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung beschrieben werden. Auch die zweite Hypothese muss verworfen werden (S. 52). Wie bei Grünkorn (2014) konnte in allen Teilkompetenzen die didaktisch orientierte Sichtweise über Modelle als Mittel zur Verständlichkeit beschrieben werden. Damit wird die dritte Hypothese bezüglich einer globalen, didaktisch orientierten Perspektive bestätigt (S. 52). Im Unterschied zu Grünkorn (2014) konnte erstens die Kategorie *Modelle als Mittel zur Zugänglichkeit* nur der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* zugeordnet werden. Zweitens ließ sich in den prozeduralen Teilkompetenzen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* eine autoritäre Perspektive von der didaktisch-medialen Perspektive mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten abgrenzen (Kapitel 4.3.3). Bezüglich der autoritären Perspektive bestätigen Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009, S. 650):

„Students appeared to have equated any authority such as a textbook or information from the teacher with primary data, and they did not talk about the need for data to be interpreted to determine its implications for the model.“

Die Recherche nach Informationen mithilfe von Medien oder autoritärer Personen beschrieben die Probandinnen und Probanden bereits in der Vorstudie als eine wichtige Form des Testens von Modellen (Kapitel 3.3.5). Sie wurde der Teilkompetenz als Kategorie von ‚Sonstiges‘ induktiv hinzugefügt. In der Hauptuntersuchung erwies sich für die Schülerinnen und Schüler die Informationsrecherche zusätzlich als ein wichtiger Schritt der Modellbildung nach dem Testen eigener Modelle als Voraussetzung zum

Ändern. Auch Maia und Justi (2009, S. 622) stellten fest, dass im Prozess der Modellbildung neue Fragen und folgend neue Ideen für die Modelle generiert werden, deren Umsetzung neuer Informationen bedürfen. Halloun (2006) beschreibt die Modellbildung als einen spiralförmigen Prozess mit zunehmender Komplexität, in dem eine Reihe erkenntnisgenerierender Tätigkeiten ausgeübt werden, sowohl in der empirischen Welt der Daten, als auch in der rationalen Welt der wissenschaftlichen Theorien. Dabei ist die Informationsrecherche vor allem zur Ergründung der nichtempirischen Welt notwendig (Halloun, 2006, S. 673):

„Model construction is not a one-time shot, especially when it is done in accordance with the model schema. A model is constructed in a spiral approach whereby the empirical scope of a model (domain and function) and its rational weaving (composition and structure) are developed progressively in the context of empirical and rational situations of increasing complexity. Model construction goes through a series of inquiry activities in both the empirical world of physical realities and related data and the rational world of scientific theory and paradigm.“

Der Schritt der Informationsrecherche als eine Form des Testens von Modellen und als notwendige Voraussetzung zum Ändern sollte im Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) Beachtung finden, um bei Interventionen darauf aufmerksam zu machen, dass während der Modellbildung Informationen bereitgestellt werden müssen. Eine weitere Schlussfolgerung für das Schema wurde aus dem Ergebnis abgeleitet, dass sowohl in der didaktisch-medialen als auch in der autoritären Perspektive Modelle häufig für einen potenziellen Modelladressaten konstruiert werden (Mitschülerinnen und Mitschüler oder Lehrkräfte). Schwarz und Kolleginnen und Kollegen (2009, S. 645) berichten entsprechend:

„In interviews, these students spoke about models as communicating explanations and one's thinking to others - for example, to 'show what you're talking about' and help 'explain to the others'. The recurrence of comments like these across different focus group conversations suggests students considered their models to have an audience...“

Im Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) wird dem Modelladressaten keine spezielle Bedeutung beigemessen. Vielmehr wird ein triadisches Modellverständnis deutlich, wonach das Subjekt ein Modell zu einem Phänomen für einen bestimmten Zweck konstruiert (Kapitel 2.1.2). Da die Fokussierung auf einen potenziellen Modelladressaten häufig zu medial geprägten Schülervorstellungen führt, sollte das triadische Verhältnis im Prozess der Modellbildung um den Faktor Modelladressat erweitert werden: „Agent A uses object M as a representative of some target system R

for purpose P, addressing audience E" (Mäki, 2009, S. 32). Die Bedeutung eines Adressaten muss bei der Planung von Interventionen Beachtung finden, um die Rolle von Modellen zur Unterstützung eigener Denkprozesse fördern zu können. Zur Beantwortung von Frage 7 („Inwiefern bilden die empirischen Daten den Prozess der Modellbildung nach Justi und Gilbert ab?“) kann auf der Grundlage der bisher diskutierten Ergebnisse das Schema der Modellbildung nach Justi und Gilbert (2002) für den schulischen Anwendungskontext um drei Aspekte erweitert werden: die bedeutende Rolle eines potentiellen Modelladressaten sowie die Schritte *Informationsrecherche* und *Verändern des externalen Modells* (Kapitel 3.3.5).

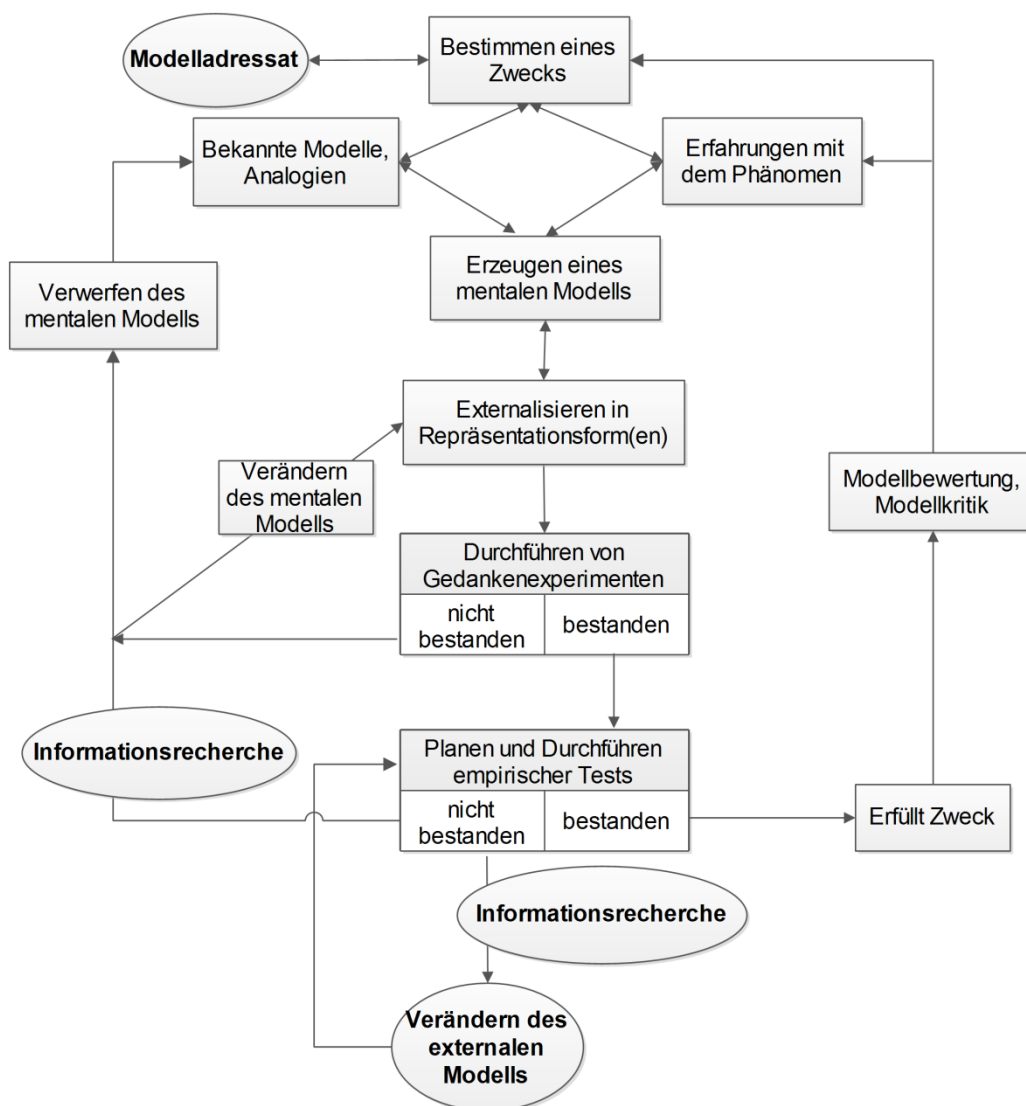


Abb. 29: Konkretisiertes Modell der Modellbildung für den schulischen Anwendungskontext auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse (verändert nach Justi & Gilbert, 2002).

In Abgrenzung zur beschriebenen adressatengerichteten Nutzung von Modellen wurden in der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* explizit Kategorien mit einem persönlichen Nutzen unterschieden: *Modelle für das eigene Verständnis (Sonstiges)*, *Modelle zum*

Erkennen eines Sachverhalts (Niveau I) und *Modelle zum Erkennen mehrerer Sachverhalte* (Niveau II, Kapitel 3.3.5). Schwarz und Team (2009, S. 636) differenzieren in diesem Zusammenhang *sensemaking* oder *communication*:

„The distinction between sensemaking and communication refers to the primary audience for whom the learners are creating the model. When sensemaking, individuals or groups are making a model for themselves, to try to understand a phenomenon, articulating their understanding as an expressed model to help clarify their thinking and develop group consensus. For communication, the learners are at the point where they are ready to share their ideas with others, articulating their model to see if others agree, try to persuade others or help them understand the phenomena.“

Im Kompetenzmodell der Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) dominiert in den medialen Niveaus der adressatengerichtete Zweck von Modellen: ‚Modelle zur Beschreibung von etwas‘ (Niveau I) und ‚Modelle zur Erklärung von Zusammenhängen‘ (Niveau II). Der persönliche Nutzen des Modellierers im Sinne des *sensemaking* sollte außerdem Beachtung finden.

Auch wenn die vorliegende Untersuchung wichtige Hinweise zur Konkretisierung des Prozesses der Modellbildung sowie dem Kompetenzmodell liefert, kommt sie zum gleichen Ergebnis wie viele andere Studien mit Bezug auf Schülervorstellungen zu verschiedenen Modellaspekten. Schülerinnen und Schüler verfügen mehrheitlich über eine medial geprägte Perspektive über Modelle zu Veranschaulichungszwecken. Die Kapitel ‚Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung‘ (2.4.2), ‚Gründe für die Qualität der Schülervorstellungen‘ (2.4.3) sowie die Ergebnisse und die Diskussion zum Prozess der Modellbildung in den letzten Kapiteln (4.3.2, 4.4.1) lieferten bereits wichtige Hinweise zur Begründung. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Thematisierung der erkenntnisgenerierenden, wissenschaftlichen Modellbildung in einem durch den medialen Einsatz von Modellen geprägten Schulkontext eine Kollision zweier verschiedener Kulturen bedeutet. Zusätzlich begründet Chi (2008), dass die Vorstellungen zum medialen und erkenntnisgenerierenden Charakter von Modellen im kognitiven System von Subjekten jeweils zwei verschiedenen epistemologischen Kategorien angehören. Diesbezüglich kamen Krell et al. (2012) und Grünkorn (2014) zu dem Ergebnis, „dass zwischen Niveau II und Niveau III, also zwischen einer medialen und einer methodischen Ebene, ein größerer inhaltlicher Unterschied besteht als zwischen Niveau I und II, die beide der medialen Ebene zuzuordnen sind“ (Grünkorn, 2014, S. 140).

Dennoch kann und muss das wissenschaftliche Denken von Schülerinnen und Schülern auf einer behutsamen Art und Weise kultiviert und gefördert werden (Matthews, 2000). Chi (2008) rät für einen erfolgreichen *conceptual change* (Kapitel 2.3) direkt auf den verschiedenen epistemologischen Kategorien (medial vs. methodisch) zu agieren:

„We propose that, in order to achieve radical conceptual change, we need students to make a category shift by reassigning a concept to another lateral category. To do so, we need to confront students at the categorical level“ (S. 77).

Bei der Konfrontation sollen die schulischen und wissenschaftlichen Kategorien durch eine Gegenüberstellung explizit gemacht und Wissen zur nicht verfügbaren Kategorie vermittelt werden. In Bezug auf Modellkompetenz scheint sich hierfür der *Zweck von Modellen* am besten zu eignen, da in diesem Zusammenhang die meisten Schüleraussagen zur methodischen Perspektive von Modellen geäußert wurden (Kapitel 4.3.3). In dieser Teilkompetenz konfrontierte die Hands-On-Aufgabe die Schülerinnen und Schüler mit der wissenschaftlichen und schulischen Kategorie zu Modellen in einem direkten Anwendungskontext und vermittelte Wissen zur wissenschaftlichen Modellbildung als weniger bekannter Kategorie (Kapitel 3.1.2).

Dennoch überwogen in der Studie phänomenbasierte und zusammenhangsbasierte Argumentationen (Kapitel 2.5.3). Wie beim beschriebenen kategorialen *conceptual change* weist Halloun (2006) daraufhin, dass die phänomenbasierten, zusammenhangsbasierten und modellbasierten Argumentationen nach Stephens et al. (1999) den Schülerinnen und Schülern durch Aufzeigen der Unterschiede direkt verdeutlicht werden sollen.

Mit den diskutierten Ergebnissen kann festgehalten werden, dass die Annahme vieler Autoren, die Durchführung praktischer Tätigkeiten zur Modellbildung würde zu einem Modellverständnis führen (z. B. Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006; Maia & Justi, 2009; Kapitel 2.5.4), in der vorliegenden Untersuchung empirisch nicht bestätigt werden kann. Vielmehr zeigt sich, dass die praktische Modellbildung die Aufmerksamkeit von Schülerinnen und Schülern auf das resultierende Modellobjekt fokussiert, da insbesondere in den Teilkompetenzen *Alternative Modelle*, *Zweck von Modellen* und *Ändern von Modellen* mehrheitlich Schüleraussagen dem ersten Niveau zugeordnet wurden (Kapitel 4.3.3). Eine Erklärung hierfür ist der durch Legrenzi, Girotto und Johnson-Laird (1993, S. 38 f.) beschriebene Fokuseffekt:

„... the focussing effect, which is an inevitable consequence of the use of models in reasoning. When individuals construct models, they make explicit as little information as possible in order to minimize the load on working memory. They

construct as few explicit models as possible, and they inevitably focus on that information which is explicit in their models and concomitantly fail to consider other alternatives."

4.4.3 Grafische, gegenständliche und verbale Modellbildungen

Die qualitativen Analysen der während der Modellbildungsprozesse erfassten Schüleraussagen und Handlungen zeigen, dass sich die verschiedenen Formen externer Modellbildungen in ihrem Ablauf und den dabei aktivierten Schüleraussagen unterscheiden. Aus den Unterschieden lassen sich jeweils Implikationen für die Anwendung im Schulkontext ableiten (Tab. 21). Die vierte Hypothese zu den Unterschieden zwischen den Modellbildungsformen wird dahingehend bestätigt, dass die grafische Modellbildung mehr eine visuelle Lernstrategie (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011) als einen adäquaten Prozess zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung darstellt (Hypothese 4b, S. 53). Beim Zeichnen wurden die sprachlich codierten räumlichen Informationen eines Textes in eine bildlich erklärende Darstellung umgesetzt (van Meter & Garner, 2005, Tab. 21). Erklärungen waren dabei wichtig, um die Einschränkung von Zeichnungen zu überwinden und Funktionen darzustellen: „Moreover, the expression in the verbal mode allowed the students to present and/or explain elements of their models that, due to their nature, could not be expressed in their concrete models“ (Maia & Justi, 2009, S.623).

Entgegen der Hypothese 4a (S. 53) ist die gegenständliche Modellbildung keine authentische Form der Erkenntnisgewinnung für Schülerinnen und Schüler. Sie eignet sich insbesondere zur Thematisierung der Prozesse Testen, Ändern und Evaluieren der fertigen Modellobjekte. Die Evaluation hinsichtlich verschiedener subjektiver Kriterien verdeutlicht die Individualität der Modellbildung (Justi & Gilbert, 2002). Bezüglich der zweischrittigen Modellobjekte, die den Prozess der Arteriosklerose zu Beginn und am Ende darstellen (Kapitel 4.3.4), berichten Bamberger und Davis (2013, S. 222):

„Comparativeness is nonetheless an essential part of a concept-process model, since showing the differences between two situations, at the beginning and at the end of the process, or between two different conditions at the same time, can help students understand the scientific phenomena.“

Ein negativer Aspekt dieser Form der Modellbildung ist, dass die vorgegebenen Materialien die Ideen der Schülerinnen und Schüler zur Modellkonstruktion einschränkten, da nur während des Zeichnens und Verbalisierens von Modellen kreative Analogien aus den verschiedensten Wissensdomänen identifiziert wurden (Tab. 21). Die Diskussion über verschiedene Analogien zu einem Kontext ist zur Förderung von

Wissenschaftsverständnis wichtig. Denn auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bilden Analogien aus verschiedensten Domänen, um schwierige Sachverhalte nachzuvollziehen (Dunbar, 1995).

Bezüglich der verbalen Modellbildung wird Hypothese 4c (S. 53) verworfen, da sie anders als erwartet den Schülerinnen und Schülern trotz eines fehlenden externalen Modellobjekts gelang. Die verbalisierende Modellbildung ist geeignet, um den gedanklichen Charakter und das Ändern von Modellen in der Schule zu thematisieren. Dabei nimmt diese Form der Modellbildung nicht viel Zeit in Anspruch. Außerdem bietet sie sich an, um zu Beginn einer Unterrichtseinheit bereits bekannte Modelle zur Thematik und vorhandenes Vorwissen der Lernenden zu reflektieren. Dabei sollte den Schülerinnen und Schülern zunächst eine kurze Bedenkzeit eingeräumt werden. Für vertiefende Unterrichtsgespräche sollten die Schülerinnen und Schüler zuvor die Gelegenheit erhalten, ihre Gedanken schriftlich zu formulieren. Während die grafischen und gegenständlichen Modelle ausgehend von den inneren Prozessen zunehmend auf die äußeren Strukturen hin gebildet wurden, erfolgte die verbale Modellbildung meist ausgehend von der Beschreibung oberflächlicher Strukturmodelle hin zum Prozess der Arteriosklerose. Saari und Viiri (2003) unterscheiden in diesem Zusammenhang eine Makro- und Mikroebene von Modellobjekten. Schülerinnen und Schüler sollte ein Wechsel zwischen beiden bewusst gemacht werden, indem beispielweise die Vor- und Nachteile dieser zwei Modellebenen für bestimmte Situationen diskutiert werden (Vollebregt, 1998; Saari & Viiri, 2003).

Tab. 21 fasst die Vor- und Nachteile der drei untersuchten Modellbildungsformen sowie Implikationen für die Anwendung im Schulkontext zusammen.

Tab. 21: Gegenüberstellung der grafischen, gegenständlichen und verbalisierenden Modellbildung.

	Grafische Modellbildung	Gegenständliche Modellbildung	Verbalisierende Modellbildung
Allgemeines	bildlich erklärende Darstellung zu Sachinformationen	zweischrittige Modelle erfordern Erklärungen des Modellierers idealisierte Strukturmodelle setzen Fantasie des Modellnutzers voraus	verbale Modelle des ersten Modellbildungsschritts beruhen auf bekannten Modellen und Erfahrungen verbale Modelle der erdachten materiellen Modellbildung sind ähnlich zu gegenständlichen Modellen
Vorteile	verdeutlicht... <ul style="list-style-type: none">• die Zweidimensionalität von Modellen• den subjektiven und kreativen Charakter von Modellen Aktivierung von Vorwissen und metaphorischen Analogien	verdeutlicht... <ul style="list-style-type: none">• die Prozesse Testen, Ändern und Evaluieren des Modellobjekts• den subjektiven und kreativen Charakter von Modellen Darstellung von Prozessen und Funktionen	verdeutlicht... <ul style="list-style-type: none">• vielfältige Einsatzmöglichkeiten von Modellen• das Ändern und den gedanklichen Charakter von Modellen Aktivierung von Vorwissen und metaphorischen Analogien zeit- und materialsparend
Nachteile	Darstellung von Funktionen schwierig (Kompensation mit verbalen Erklärungen)	Materialien beeinflussen Konstruktionsideen (keine kreative Analogiebildung) Fokussierung auf die Dreidimensionalität und den gegenständlichen Charakter von Modellen zeit- und materialaufwendig	Schwierigkeiten bei der gedanklichen Modellbildung zu inneren Prozessen
Implikationen für den Schulkontext	Erfassen von Vorwissen zu einer Thematik Nutzung als visuelle Lernstrategie	Differenzierungsmöglichkeiten, wenn Materialien gewisse Strukturen implizieren	Erfassen bereits bekannter Modelle und Vorwissen zu Thematik Bedenkzeit und Verschriftlichung der Gedanken

Hinsichtlich eines Unterschieds zwischen den vier möglichen Kombinationen der Modellbildungsprozesse Zeichnen oder Verbalisieren im ersten Schritt und Konstruieren oder Verbalisieren im zweiten Schritt (Zeichnen/Konstruieren, Zeichnen/Verbalisieren, Verbalisieren/Verbalisieren, Verbalisieren/Konstruieren) weist die gruppenspezifische Verteilung der Schüleraussagen auf die einzelnen Niveaus jeder Teilkompetenz keinen

Vorteil einer bestimmten Gruppe bezüglich der Aktivierung der Schüleraussagen über den hypothetischen Charakter von Modellen und der Modellbildung zur Erkenntnisgewinnung auf (Kapitel 4.3.4). Die fünfte Hypothese muss verworfen werden („Bei der Kombination der grafischen mit der gegenständlichen Modellbildung werden die meisten elaborierten Schüleraussagen über die erkenntnisgenerierende Modellbildung aktiviert“).

4.4.4 Angebote zur Aktivierung epistemologischer Vorstellungen

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Durchführung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung allein nicht ausreicht, um elaborierte Schüleraussagen zu den verschiedenen Modellaspekten zu aktivieren. Eine wichtige Begründung liegt in der Fokussierung der Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler auf das resultierende Modellobjekt (Kapitel 4.4.2). Erst das Reflektieren über alternative Modellobjekte, die Prozesse des Testens und Änderns von Modellen sowie über den Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung öffnete die Gedanken der Schülerinnen und Schüler weg vom eigenen Modellobjekt hin zu einer wissenschaftlichen Perspektive (Kapitel 4.3.5). Die sechste Hypothese bezüglich einer positiven Wirkung verschiedener angeleiteter modellbasierter Reflexionen zur Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen wird bestätigt (S. 54). Es deutet sich an, dass die durch die Reflexionsangebote vermittelte *reflection-in-action* (Schön, 1987) zu einem *reflective learning* (Linder & Marshall, 2003) führen. Halloun (2006, S. 678) begründet das damit, dass die wissenschaftlich angeleiteten Reflexionen den Schülerinnen und Schülern die Grenzen ihres eigenen Wissens verdeutlichen:

„Such reflection is rendered insightful in the sense that individual students become consciously aware of the limitations of their own conceptual structures or processes (...) and they explicitly realize what makes scientific realism superior to naive realism.“

Dieses Ergebnis ist analog zur Forderung zahlreicher Instruktionsstudien zum forschenden Lernen, dass in einem experimentell orientierten Unterricht ein adäquates Wissenschaftsverständnis nur in Kombination mit einer explizit-reflexiven Betrachtung von Aspekten der Natur der Naturwissenschaften gefördert werden kann (Akerson & Abd-El-Khalick, 2003; Khishfe, 2008; Rudge & Howe, 2009; Kremer, Urhahne & Mayer, 2009). Ein Unterricht, der sich allein auf die Durchführung von Experimenten beschränkt, fördert kein Naturwissenschaftsverständnis (Bell et al., 2003). Ebenso wird ein Unterricht, der sich allein auf die Durchführung modellbildender Tätigkeiten beschränkt, kein Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis fördern. Daher wird der am Anfang zitierte Ausspruch von Konfuzius folgendermaßen modifiziert:

„Sage es mir - Ich werde es vergessen.
Erkläre es mir - Ich werde mich erinnern.
Lass es mich selber tun – **[und nachdenken]**
Ich werde verstehen.“

Schwarz und Team (2009, S. 635) gehen einen Schritt weiter und fordern, im Unterricht die Tätigkeiten zur Modellbildung mit Phasen der direkten Vermittlung von Modellverständnis (*metamodeling knowledge*, Kapitel 2.2.2) zu kombinieren:

„It would be a poor version of the practice if students were to engage in the steps of the practice by rote rather than understanding the purpose of each step, or strive to achieve models of particular forms without understanding why those characteristics of models are important. Similarly, it would be of little practical use for students to learn abstract decontextualized understandings about science, where they could describe the nature or purpose of models, without being able to use these understandings in guiding their development and use of models (...). Knowing the forms and purposes of models and criteria for evaluating them can help guide learners in more successful and reflective use of models in scientific reasoning.“

Die Autoren führen dabei nicht aus, wie das Modellverständnis im Unterricht konkret vermittelt werden soll. In ihrer Studie konnten sie keine Erfolge zur Vermittlung der methodischen Perspektive auf Modelle aufzeigen (Kapitel 2.5.4).

4.4.5 Methodenkritik

Das vorliegende Projekt untersuchte kontextspezifisch Einzelfälle zum Prozess der Modellbildung, um vertieft resultierende Schüleraussagen zu verschiedenen Modellaspekten und Tätigkeiten zur Modellbildung analysieren zu können. Entsprechend der qualitativ durchgeführten Forschungsweise können keine Generalisierungen vorgenommen werden, sondern lediglich exemplarische Verallgemeinerungen (Wahl et al., 1983, S. 206). Die Vorstellungen und Tätigkeiten der Probandinnen und Probanden wurden einmalig direkt im Prozess der Modellbildung zu nur einem Kontext erfasst. Auf diese Weise wurden im Gegensatz zu bisherigen Studien (vgl. Kapitel 2.5.4) viele Einflussvariablen minimiert (z. B. Zeit, unterrichtsspezifische Aspekte) und untersucht, welche konkreten Tätigkeiten oder Instruktionen epistemologische Schülervorstellungen über Modelle und die Modellbildung aktivieren. Harrison und Treagust (2000) kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass Schülerinnen und Schüler viel Zeit und die Anwendung in verschiedenen Kontexten benötigen, um den Prozess der Modellbildung zu verstehen. Doch das Ziel der vorliegenden Studie war keine Vermittlungsabsicht, sondern die

Überprüfung des Postulats, die praktische Modellbildung aktiviere ein Modellverständnis als Bestandteil von Wissenschaftsverständnis (Gobert & Pallant, 2004; Schwarz & White, 2005; Maia & Justi, 2009). Ein weiteres Ziel der Studie bestand in der Ableitung von Implikationen für den Biologieunterricht zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 5). Dabei muss beachtet werden, dass die Grundlagen keine Unterrichtserprobungen sind, sondern vertiefende Einzelfallanalysen.

Während die bisherige Kritik vornehmlich im Charakteristikum qualitativer Forschung gründet, geht es im Folgenden um die Aufgabenstruktur zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 3.1.2). In Kapitel 4.4.1 wurde bereits problematisiert, dass die Präsentation von Informationen vor den modellbildenden Tätigkeiten zu einem veranschaulichenden anstelle eines erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess führt. Die Informationen fungieren als Antworten zu den Schülerhypothesen. In der Untersuchung waren sie jedoch notwendig, um den Einfluss von Fachwissen so gering wie möglich zu halten. In folgenden Untersuchungen oder im Schulkontext sollten Informationen in Form gestufter Lernhilfen nur bei Bedarf und zu einem späteren Zeitpunkt gereicht werden.

Eine theoretisch hergeleitete Konzipierung der Hands-On-Aufgabenstruktur (Kapitel 3.1.1) und verschiedene Validierungsschritte im Rahmen von Expertendiskussionen, Unterrichtserprobungen sowie einer empirischen Erprobung (Kapitel 3.2, 3.3) sollten einen erkenntnisgenerierenden Modellbildungsprozess sicherstellen. In folgenden Untersuchungen zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung müssten jedoch die Aufgabenstellungen zu den konkreten Modellbildungsprozessen optimiert werden („Denke dir ein Modell aus, fertige eine Zeichnung an und beschrifte sie“, „Baue dein Modell mit den Materialien aus der Kiste“). Um nicht nur ein Anschauungsmodell über das Phänomen konstruieren zu lassen, müsste die Aufgabenstellung korrekt heißen: „Untersuche mit deinem Modell deine Vermutung“. In diesem Kontext stellen Passmore, Gouveau und Giere (2014) nach Mahrs Tradition fest (2009, Kapitel 2.1.3), dass die Differenzierung zwischen ‘Modelle von einem Phänomen’ oder ‘Modelle für etwas’ im Unterricht zur Modellbildung richtungsweisend ist. „...the focus should not be on a model of something as an end in itself; rather models are *for* particular sense-making aims“ (S. 1189, 1190). Der Aspekt ‘Modelle für etwas’ fokussiert auf die Funktion anstatt auf die Struktur eines Phänomens. Er lenkt auf das Denken mit Modellen und das *sensemaking*, anstelle das Modell auf das Phänomen zu reduzieren, über das es Fakten auswendig zu lernen gilt.

5 Implikationen für den Biologieunterricht

Die entwickelte Hands-On-Aufgabenstruktur ist ein geeigneter Ausgangspunkt zur Planung von Biologieunterricht zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung in verschiedenen Jahrgangsstufen und zu verschiedenen Kontexten. Die diskutierten Ergebnisse der Untersuchung liefern wichtige Hinweise zur Umsetzung der verschiedenen Tätigkeiten.

Generierung von Hypothesen

Zur Vermittlung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung müssen Schülerinnen und Schüler eigene Vermutungen mithilfe des Modells untersuchen. Die wichtige Phase zur Generierung der Hypothesen sollte im Rahmen von offenen Unterrichtsdiskussionen umgesetzt werden, um in Bezug auf das Phänomen sinnvolle, konkrete und testbare Vermutungen aufzustellen. Beispielsweise könnten die Fragen der Schülerinnen und Schüler und entsprechende Vermutungen an der Tafel gesammelt und nach Interesse durch verschiedene Gruppen untersucht werden.

Gestufte Lernhilfen

Für den Modellbildungsprozess notwendige Informationen sollten erst nach der Phase der Generierung von Hypothesen zur Verfügung gestellt werden, um einem medialen Modellbildungsprozess entgegenzuwirken. Dazu bieten sich gestufte Lernhilfen an, die den Problemlöseprozess in Form von Impulsen inhaltlicher oder lernstrategischer Art unterstützen (Forschergruppe Kassel, 2004). Auf diese Weise können im Modellbildungsprozess neu aktivierte Fragen der Schülerinnen und Schüler gezielt beantwortet werden. Im späteren Verlauf eignen sich neue Informationen der Lernhilfen zur Thematisierung des Änderns von Modellen aufgrund neuer Erkenntnisse.

Differenzierungsmöglichkeiten

Es kann sein, dass den Schülerinnen und Schülern kreative Ideen zur gegenständlichen, grafischen oder verbalen Modellbildung fehlen. Im Unterricht bietet es sich daher an, die Form der Modellbildung je nach Fähigkeit und Kreativität wählen zu lassen. Die Gruppenarbeit unterstützt dabei, dass Ideen zu Konstruktionsmöglichkeiten und zum Ändern von Modellen ausgetauscht und gemeinsam umgesetzt werden können. Die Lehrkraft kann mithilfe des Sprachgebrauchs gezielt die zur Verfügung gestellten Informationen differenzieren, da bestimmte Begriffe die Vorstellungskraft unterschiedlich stark anregen. Bei der gegenständlichen Modellkonstruktion kann zudem bei der Auswahl der Materialien eine Differenzierung vorgenommen werden.

Sammeln von Metaphern und Analogien

Kreative Modellideen der Schülerinnen und Schüler in Form von Metaphern oder Analogien sollten gesammelt und mit der Lerngruppe diskutiert werden. Auf diese Weise kann der gedankliche und individuelle Charakter von Modellen verdeutlicht werden.

Gegenüberstellung der Mikro- und Makroperspektive auf das Modellobjekt

Schülerinnen und Schüler nehmen im Prozess der Modellbildung unterschiedliche Perspektiven auf das Modellobjekt ein, deren Vor- und Nachteile diskutiert werden sollten (Saari & Viiri, 2003). Die Makroperspektive fokussiert auf die äußeren Strukturen des Modellobjekts, die Mikroperspektive auf dessen innere Prozesse und Funktionen (Kapitel 4.4.3).

Vier Unterrichtsphasen zum Modellverständnis

Die Ergebnisse zu den Unterschieden zwischen der grafischen, gegenständlichen und verbalisierenden Modellbildung (Kapitel 4.3.4) sowie zum Erfolg der drei Reflexionsangebote (Kapitel 4.3.5) weisen auf Unterricht mit dem Ziel der Vermittlung von Modellverständnis in vier Phasen hin (Abb. 30).

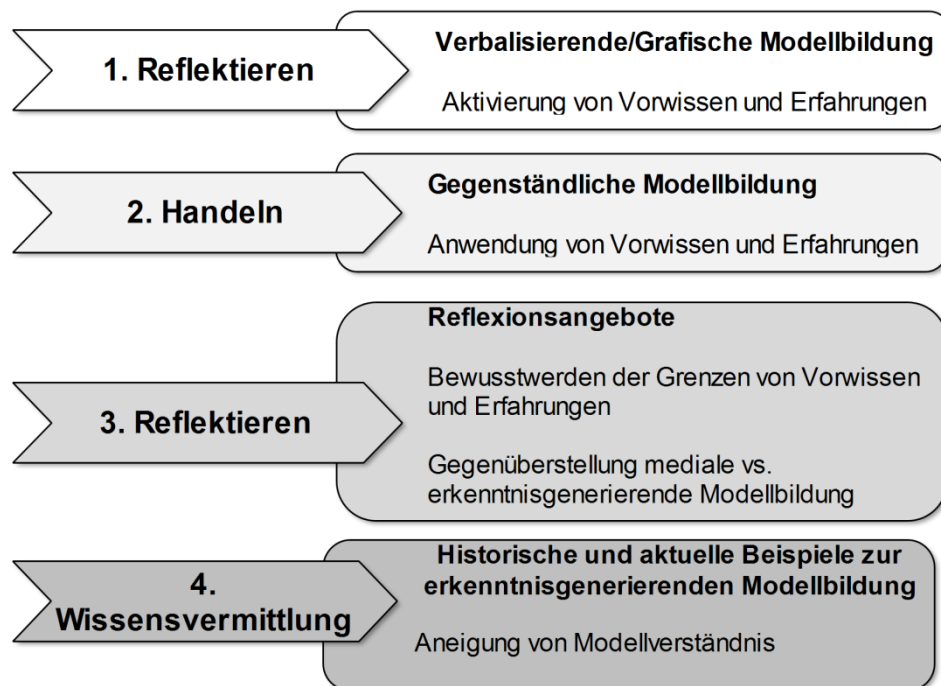


Abb. 30: Vier Unterrichtsphasen zur Vermittlung von Modellverständnis.

In der ersten Phase erhalten die Schülerinnen und Schüler im Rahmen der verbalisierenden oder grafischen Modellbildung die Möglichkeit zu freien Assoziationen zum Phänomen und zur Thematik Modelle und Modellbildung auf Grundlage ihres individuellen Vorwissens und ihrer persönlichen Erfahrungen. Da es für Schülerinnen und Schüler schwieriger und komplexer ist, ein konkretes als ein abstraktes Verständnis zu

etablieren (Terzer, Patzke & Upmeyer zu Belzen, 2012), erweisen sich die folgenden Phasen von Vorteil. Bei der gegenständlichen Modellbildung werden die aktivierten Erfahrungen und das Vorwissen in einen konkreten Anwendungskontext situiert. Die gegenständlichen Modellobjekte helfen, eigene Gedanken zu konkretisieren und weiterzuführen und fördern insbesondere das zweite Niveau der Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* (Modelle als idealisierte Repräsentationen) und *Testen von Modellen* (Parallelisieren des Modellobjekts mit dem Phänomen). In der dritten Phase führen konkrete Reflexionsangebote (Fragen zum Testen, Ändern und zum Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung, Präsentation alternativer Modelle aus dem schul- und wissenschaftlichen Kontext) zu einer direkten Gegenüberstellung der schulischen und wissenschaftlichen Anwendung von Modellen. Dabei werden die Grenzen des eigenen Vorwissens bewusst und der Fokus von der medialen auf die erkenntnisgenerierende Modellbildung verschoben. Zum Abschluss sollte direkt Wissen zum Aufbau von Modellverständnis vermittelt werden (Chi, 2008; Schwarz et al., 2009). Hierzu eignet sich beispielsweise die Thematisierung von historischen (z. B. Entdeckung der DNA) oder aktuellen Anwendungen der wissenschaftlichen Modellbildung (z. B. Bionik).

6 Fazit

Die vorliegende Untersuchung überprüfte das Postulat, dass die selbstständige Durchführung einzelner Schritte der Modellbildung, wie das Konstruieren, Testen und Ändern von Modellen, epistemologische Schülervorstellungen über Modelle als Denkwerkzeuge und die Modellbildung als grundlegenden Prozess der Erkenntnisgewinnung aktiviert (z. B. Schwarz & White, 2005; Lehrer & Schauble, 2006; Schwarz et al., 2009). Das verwendete Untersuchungsdesign kann dahingehend als innovativ bezeichnet werden, als dass die Vorstellungen einzelner Schülerinnen und Schüler zu einem Zeitpunkt qualitativ direkt im Prozess der Modellbildung erfasst wurden, um bestimmte Einflussfaktoren zu minimieren (z. B. Zeit, Mitschüler). Da denk- und handlungsorientierte Unterrichtsmaterialien zur Thematisierung der erkenntnisgenerierenden Modellbildung fehlen (Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002), wurden zusätzlich in einem experimentellen Untersuchungsdesign die Vor- und Nachteile verschiedener im Unterricht praktikabler Modellbildungsformen untersucht sowie Hinweise zur Gestaltung von Unterricht zur Thematik abgeleitet.

Als grundlegendes Ergebnis zeigt sich, dass die meisten Probandinnen und Probanden den hypothetisch-deduktiv angelegten Modellbildungsprozess trotz unterstützender und strukturierender Maßnahmen auf eine mediale Weise durchführten. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung und der Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen zu Modellen und zur Modellbildung aufgezeigt werden. Im Gegensatz zu den praktischen modellbildenden Tätigkeiten erwiesen sich drei Reflexionsangebote in Form von Interviewfragen oder visuellen Impulsen als hilfreich zur Aktivierung epistemologischer Schülervorstellungen. Konkret öffnete das Reflektieren über die Prozesse des Testens und Änderns von Modellen, über den Prozess der wissenschaftlichen Modellbildung und schließlich über alternative Modellobjekte die Gedanken der Schülerinnen und Schüler weg vom eigenen Modellobjekt hin zu einer wissenschaftlichen Perspektive über den erkenntnisgenerierenden Charakter von Modellen.

Eine weitere Erkenntnis der Studie ist, dass die durch Justi und Gilbert (2002) beschriebenen Schritte zur Modellbildung mit Blick auf zukünftige Interventionen um drei Aspekte erweitert werden können: die bedeutende Rolle des Modelladressaten sowie die Schritte *Informationsrecherche* und *Verändern des externalen Modells*. Der erdachte Adressat beeinflusst den Prozess der Modellbildung wesentlich. Die Probandinnen und Probanden konstruierten ihre Modelle meist für Mitschülerinnen und Mitschüler mit dem Resultat eines medialen Prozesses zu Veranschaulichungszwecken. Die Recherche nach Informationen war eine wichtige Voraussetzung zum Testen und Ändern der Modelle. Und

letztlich veränderten und verwarfen die Probandinnen und Probanden nicht nur ihre mentalen Modelle, wie bisher im Schema durch Justi und Gilbert beschrieben, sondern führten zusätzlich direkt Veränderungen an ihren konstruierten Modellobjekten durch. Bezüglich des Kompetenzmodells der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) sollte in den ersten beiden Niveaus der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* neben dem adressatengerichteten Nutzen von Modellen auch ein persönlicher Zweck im Sinne eines individuellen Sinnstiftens Beachtung finden (*sensemaking* vs. *communication*, Schwarz et al., 2009; Kapitel 4.4.2).

Die Untersuchung kam außerdem zu dem Ergebnis, dass grafische, gegenständliche und gedankliche Modellbildungen jeweils unterschiedlich geeignet sind, verschiedene Modellaspekte mit Schülerinnen und Schülern zu thematisieren. Das Zeichnen erweist sich mehr als eine visuelle Lernstrategie und weniger als ein adäquater Prozess der Erkenntnisgewinnung, da die Probandinnen und Probanden die vorgegebenen Informationen in bildlich erklärende Darstellungen übersetzten. Die Modellbildung mit konkreten Materialien eignet sich insbesondere zur Thematisierung des Testens, Änderns und Evaluierens des Modellobjekts. Die verbalisierende Modellbildung ist geeignet, um den gedanklichen Charakter und das Ändern von Modellen zu thematisieren. Aus den Ergebnissen der Studie wurden Hinweise zur Gestaltung von Unterricht zur Modellbildung abgeleitet.

7 Ausblick

Die vorliegende Studie kam der Forderung nach, bei der Erfassung von Modellkompetenz als naturwissenschaftliche Denk- und Handlungsweise neben den kognitiven Fähigkeiten auch das praktische, manuelle Ausführen der Modellbildung einzubeziehen (vgl. Schecker & Parchmann, 2006, S. 46). Zur umfangreichen Untersuchung von Modellkompetenz sollten entsprechend der Kompetenzdefinition nach Weinert (2001) in weiteren Studien die motivationalen und volitionalen Bereitschaften während der Modellbildung berücksichtigt werden. Um Aussagen über die Kontextabhängigkeit von Modellkompetenz treffen zu können, ist es wichtig, die erkenntnisgenerierende Modellbildung zu mehreren Kontexten zu untersuchen. Außerdem setzt die Entwicklung von Modellverständnis die Anwendung in verschiedenen Kontexten voraus (White & Frederiksen, 1998; Bamberger & Davis, 2013).

Ein wichtiges Ergebnis der Studie sind Hinweise zur Gestaltung von Biologieunterricht zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung (Kapitel 5). Desweiteren kann die evaluierte Hands-On-Aufgabenstruktur für die Unterrichtsplanung zur Thematik verwendet werden und das entwickelte Codiermanual als Diagnoseinstrument zur Modellkompetenz von Schülerinnen und Schülern. Auch Ruiz-Primo und Shavelson (1996) sehen Hands-On-Aufgaben als nützliche Instrumente für Curriculum-Reformen und betonen, dass sie Lehrkräften neue Instruktionsziele und neue Lehrkonzepte bieten. Für eine erfolgreiche Implikation sollten zukünftig Referendarinnen und Referendare sowie Lehrkräfte mit der Thematik vertraut gemacht werden, da Modelle im Unterrichtsalltag meist als Medien eingesetzt werden und Lehrkräfte folglich über wenig Erfahrungen bezüglich der erkenntnisgenerierenden Funktion von Modellen verfügen (Van Driel & Verloop, 1999; Justi & Gilbert, 2003; Fleige et al., 2012; Kapitel 2.5.3).

Zur Teilkompetenz *Testen von Modellen* kam die Untersuchung zu dem Ergebnis, dass die Probandinnen und Probanden bei der Durchführung der Modellbildung die entstehenden Modellobjekte unentwegt mit dem Original vergleichen. Grünkorn (2014) vermutet diesbezüglich, dass das Parallelisieren eine Art Grundfähigkeit ist, die möglicherweise die Ausprägung von Modellkompetenz beeinflusst. In weiteren Untersuchungen sollte geprüft werden, inwiefern sich diese mögliche Grundfähigkeit auf die Durchführungsqualität der Modellbildung und Schülervorstellungen zu Modellen auswirkt. Bei welchen Teilkompetenzen wird die Performanz konkret beeinflusst?

Um zu untersuchen, wie die Entwicklung des Modellverständnisses verläuft, sollte ein denk- und handlungsorientierter Unterricht zur Modellbildung im Rahmen einer Interventionsstudie mit Pre- und Posttestdesign empirisch begleitet werden (Penner et al., 1997). Im Rahmen einer solchen Klassenuntersuchung zur erkenntnisgenerierenden Modellbildung kann der Einfluss unterrichtsbedingter Variablen auf Modellkompetenz untersucht und mit bereits existierenden quantitativen Instrumenten bewertet werden (Terzer, 2013; Krell, 2013; Grünkorn, 2014). Dabei könnte zudem überprüft werden, inwiefern jüngere oder ältere Probandinnen und Probanden, auch anderer Schulformen (z. B. integrierte Sekundarschule), die verschiedenen Tätigkeiten zur Modellbildung ausführen. Auf diese Weise würde ein breiteres Leistungsspektrum erfasst und umfassendere Implikationen für den Biologieunterricht abgeleitet werden. Eine wichtige Voraussetzung für diese Untersuchungen ist, die konstruierte Hands-On-Aufgabe für die jeweilige Zielgruppe zu optimieren und zu evaluieren, um eine angemessene Schwierigkeit zu gewährleisten (Rost, 2004).

Mithilfe des experimentellen Untersuchungsdesigns wurden Aussagen über die Vor- und Nachteile der gegenständlichen, grafischen und verbalen Modellbildungsprozesse getroffen. Diese drei Formen sind für den Schulkontext hinsichtlich des materiellen und zeitlichen Aufwands praktikabel. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten außerdem täglich und zunehmend mit Computermodellen. Speziell mit Simulationen können sie systematisch hypothetische Situationen untersuchen, die real nicht zugänglich sind (Krohs, 2008). Da der naturwissenschaftliche Unterricht den Prozess der Erkenntnisgewinnung authentisch thematisieren soll (AAAS, 1993, S. 147), sollte auch der computerbasierte Modellbildungsprozess mit Schülerinnen und Schülern untersucht werden (Campbell & Abd-Hamid, 2013)¹⁵. Aus der vorliegenden Untersuchung können Ideen für technologiebasierte Tätigkeiten zur Modellbildung abgeleitet werden, die auch schon Schülerinnen und Schüler jüngerer Jahrgangsstufen durchführen können:

- Das Internet bietet hervorragende Möglichkeiten für die notwendige und individuelle Informationsrecherche zur Modellbildung.
- Die grafische und verbale Modellbildung kann mit einer geeigneten Software leicht umgesetzt werden (z. B. *Microsoft Paint*, *Microsoft Word*).
- Änderungsprozesse der Modelle können jederzeit gespeichert werden. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler den Entstehungsprozess ihres Modellobjekts anhand von Zwischenstadien reflektieren.

¹⁵ Für die computerbasierte Modellbildung mit Schülerinnen und Schülern existieren bereits vielfältige Angebote zu verschiedensten Kontexten (z. B. *NetLogo*, *GenScope*, *Phet Interactive Simulations*).

- Der Einsatz von Präsentationssoftware erleichtert die Präsentation und die Diskussion über konstruierte Modelle und den Prozess der Modellbildung (z. B. *Microsoft Powerpoint*).
- Der Prozess der Fragen- und Hypothesengenerierung kann mit Concept-Mapping-Tools erleichtert werden, da vorhandenes Vorwissen und persönliche Erfahrungen zum Kontext aktiviert und strukturiert werden.

Wichtiges Ziel nachfolgender Untersuchungen sollte außerdem die empirische, erstmalige Überprüfung des Postulats sein, dass Modellverständnis ein Bestandteil von Wissenschaftsverständnis sei (Gilbert, 1991; Treagust et al., 2002). Hierzu könnte die Konzeption der vorliegenden Studie auf eine größere Stichprobe übertragen werden. Bei der Analyse würden die Schüleraussagen sowohl den Kategorien zur Modellkompetenz als auch denen zum Wissenschaftsverständnis nach Kremer (2010) zugeordnet werden. Mit der Software *MAXQDA* werden Kreuzschemata erzeugt, die grafisch Korrelationen zwischen den Kategorien anzeigen, welche anschließend auch statistisch überprüft werden können. Außerdem wäre es entsprechend der drei modellbasierten Lernbereiche nach Meisert (2008, Abb. 7, Kapitel 2.2.3) interessant, neben einem Zusammenhang zwischen dem Modellverständnis und den praktischen Tätigkeiten zur Modellbildung die Beziehung zwischen dem Modellverständnis und dem Fachwissen zu untersuchen.

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben und mich auf meinem Weg begleiteten und unterstützten.

Frau Prof. Dr. Annette Upmeier zu Belzen macht dem Begriff DoktorMUTTER alle Ehre. In den entscheidenden Momenten der Promotion konnte ich mich immer auf sie verlassen. Sie gab mir stets die Zuversicht, alle Herausforderungen zu meistern. Sie lehrte mich, pointiert zu denken, dem roten Faden zu folgen und das große Ganze zu betrachten. Ich danke ihr auch für die vielen schönen und lustigen Stunden, zum Beispiel auf Tagungen oder bei (Geocaching-)Ausflügen.

Für die schöne Zeit, die Unterstützung und den fachlichen Austausch bedanke ich mich auch bei den Kolleginnen und Kollegen der Biologiedidaktik an der HU, die mich während meiner Promotionszeit begleiteten. Bei Dr. Ralf Merkel, Kathrin Nowak, Meta Kambach, Christiane Patzke, Prof. Dr. Sandra Nitz und Alexandra Moormann möchte ich mich für die vielen offenen Ohren und einfühlsamen Worte bedanken. Sandra und Alexandra, euch gebührt zudem ein großer Dank für die letzten wertvollen Kommentare zu meiner Arbeit in einer Zeit, wo jeder Tag bei euch 48 Stunden hätte haben können. Nicole Conrads danke ich für ihre Hilfe bei der Dateneingabe, der Zweitcodierung und den fruchtbaren Diskussionen über das Datenmaterial.

Mein Projekt hat sich unter anderem auch durch die vielen kritisch-konstruktiven Diskussionen mit der Modellgruppe geformt. Dabei warf Herr Prof. Dr. Dirk Krüger oft einen anderen Blickwinkel auf die Dinge und lieferte wertvolle Hinweise. Für die konstruktiven Ideen zu meinem Projekt danke ich auch Dr. Eva Terzer. Dr. Juliane Grünkorn gebührt Dank für die Nutzung ihrer Codierleitfäden. Danke an Alle.

Ein weiterer Dank gilt den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern für ihre Offenheit und kreativen Ideen und den Lehrkräften für die gute Organisation an den jeweiligen Schulen.

Schließlich möchte ich mich bei meinen wunderbaren Freunden und meiner lieben Familie, insbesondere bei meinem Mann Samuel Orsenne und meinen Eltern Iris und Harald Hänsch bedanken. Ihr alle habt mich geduldig durch die Höhen und Tiefen der Promotionszeit begleitet und in schwierigen Zeiten liebevoll unterstützt und aufgebaut. Ohne euch hätte ich das nicht geschafft. Ich bin sehr dankbar, jeden Einzelnen von euch an meiner Seite zu wissen.

Literaturverzeichnis

Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R. A., Hofstein, A., Lederman, N. G., Mamlok, R., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.

abundant (1997). Def. 2. In Duden - Das Fremdwörterbuch (6. Aufl.). Mannheim u.a.: Dudenverlag.

Achieve, Inc. on behalf of the twenty-six states and partners that collaborated on the NGSS (2013). *Next Generation Science Standards*. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.nextgenscience.org/>

Aebli, H. (1981). *Denken: Das Ordnen des Tuns. Band II: Denkprozesse*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: a conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333(6046), 1096–1097.

Akerson, V. L., & Abd-El-Khalick, F. (2003). Teaching elements of nature of science: A yearlong case study on a fourth-grade teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 1025–1049.

Al-Diban, S. (2002): *Diagnose mentaler Modelle*. Hamburg: Kovac.

American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1993). *Benchmarks for Science Literacy, Project 2061*. New York, NY: Oxford University Press.

Anderson, John R. (1983): *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.

Baek H., & Schwarz, C. V. (2015). The influence of curriculum, instruction, technology, and social interactions on two fifth-grade students' epistemologies in modeling throughout a model-based curriculum unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 216–233.

Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213–238.

Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien: Erfassung, Beschreibung und Vermittlung wirksamer metakognitiver Strategien und Regulationsaktivitäten*. Münster: Waxmann.

Barab, A.B., Hay, K.E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 719–756.

Baxter, G. P., & Shavelson, R. J. (1994). Science Performance Assessments: Benchmarks and Surrogates. *International Journal of Educational Research*, 21(3), 279–298.

Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 487–509.

Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005). A Study of Junior High Students' Perceptions of the Water Cycle . *Journal of Geoscience Education*, 53, 366-373.

Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.

Bilandzic, H. (2005). Lautes Denken. In L. Mikos, & C. Wegener (Hrsg.), *Qualitative Medienforschung. Ein Handbuch* (S. 362-370). Konstanz: UVK.

Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5-31.

Bogdan, R.C., & Biken, A.K. (1992). *Qualitative research for education: An introduction to theory and methods*. Boston: Allyn and Bacon.

Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.

Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human und Sozialwissenschaftler* (4., überarb. Aufl.). Berlin: Springer.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.

Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895-935.

Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental ModelS. In J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing Models in Science Education* (S. 119-135). Dordrecht: Kluwer.

Bybee, R. W. (1997). Toward an Understanding of Scientific Literacy. In W. Gräber, & C. Bolte (Hrsg.), *Scientific literacy* (S. 37-68). Kiel: Institute for Science Education (IPN).

Campbell, T., & Abd-Hamid, N. (2013). Technology Use in the Science Instruction (TUSI): Technology and Science Education Reform. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 572-588.

Campbell, T., & Oh, P. S. (2015). Engaging students in modeling as an epistemic practice of science: An introduction to the special issue of the Journal of Science Education and Technology. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 125-131.

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.

Carnap, R. (1973). *Grundlagen der Logik und Mathematik*. München: Nymphenburger Verlagshandlung.

Carter, G., & Jones, M. (1994). Relationship between ability-paired interactions and the development of fifth graders' concepts of balance. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 847-856.

Cartier, J. L. (2000). *Using a modeling approach to explore scientific epistemology with high school students*. Research report 99-1 for the National Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://ncisla.wceruw.org/publications/reports/RR99-1.Pdf>

- Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. In S. Vosniadou (Hrsg.), *Handbook of research on conceptual change* (S. 61–82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of nonmajor chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274–292.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: protocol evidence on sources of creativity in science. In J. Glover, R. Ronning, & C. Reynolds (Hrsg.), *Handbook of creativity: Assessment, theory and research* (S. 341–381). NY: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053.
- Crawford, B., & Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In K. Boersma, H. Eijkelhof, M. Goedhart, & O. Jong (Hrsg.), *Research and the Quality of Science Education* (S. 309–323). Dordrecht: Springer.
- Dambeck, H. (2014). Computersimulation: Wie Ebola nach Europa gelangen könnte. *Spiegel Online*. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/ebola-der-weg-von-afrika-nach-europa-in-einer-computer-simulation-a-988625.html>
- Denzin, N. K. (1970). *The Research Act*. Chicago: Aldine.
- Develaki, M. (2007). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16, 725–749.
- Dörr, G., Seel, N. M., & Strittmatter Peter (1986). Mentale Modelle: Alter Wein in neuen Schläuchen? *Unterrichtswissenschaft*, 2, 168–189
- Downes, S. (1992). The importance of models in theorizing: A deflationary semantic view. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 142–153.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649–672.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R.J. Sternberg, & J.E. Davidson (Hrsg.), *The nature of insight* (S. 365–395). Cambridge MA: MIT Press.
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin: Springer.
- Duschl, R., & Hamilton, R. (1998). Conceptual Change in Science and in the Learning of Science. In B. Fraser, & K. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education* (S. 1047–1065). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Duschl, R., & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. In R. Duschl, & R. Grandy (Hrsg.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and application* (S. 1 – 37). Rotterdam/Taipei: Sense Publishers.

Elby, A., & Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education*, 85(5), 554–567.

Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (2006). *Lehrbuch der kognitiven Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: MIT Press.

Erten, S. (2008). Interests of fifth through tenth grade students towards human biology. Hacettepe University, *Journal of Education*, 35, 135-147.

Eveland, W. P., & Dunwoody, S. (2000). Examining information processing on the World Wide Web using think aloud protocols. *Media Psychology*, 2(3), 219–244.

Feuerzeig, W., & Roberts, N. (1999). *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*. New York: Springer-Verlag.

Fleige, J., Seegers, A., Upmeyer zu Belzen, A., & Krüger, D. (2012). Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *MNU*, 65, 19-28.

Fleiss, J.L., & Cohen, J. (1973). The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 33, 613–619.

Forschergruppe Kassel (2004). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Lernchancen*, 42, 38-43.

Freedman, D. H. (2004), Das virtuelle Herz. *Technology Review*, 4, 50-55.

Friege, G., & Lind, G. (2000). Begriffsnetze und Expertise. In H. Fischler, & J. Peuckert (Hrsg.), *Studien zum Physiklernen* (Band 1, S. 147-178). Berlin: Logos Verlag Berlin.

Frommann, U. (2005). Die Methode „Lautes Denken“. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://www.e-teaching.org/didaktik/qualitaet/usability/Lautes%20Denken_e-teaching_org.pdf

Funke, J., & Spering, M. (2006). Methoden der Denk- und Problemlöseforschung. In J. Funke (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Denken und Problemlösen* (S. 675–744). Göttingen: Hogrefe.

Gao, X., Shavelson, R. J., & Baxter, G. P. (1994). Generalizability of Large-Scale Performance Assessments in Science: Promises and Problems. *Applied Measurement in Education*, 7(4), 323–342.

Gentner, D., & Stevens, A. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Gentner, D., & Wolff, P. (2000). Metaphor and knowledge change. In E. Dietrich, & A. Markman (Hrsg.), *Cognitive dynamics: Conceptual change in humans and machines* (S. 295 – 342). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach. Science and its conceptual foundations*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

- Gieryn, R. N. (1999). *Science without laws. Science and its conceptual foundations*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73–79.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In B. Fraser, & K. Tobin (Hrsg.), *International handbook of science education. Part one* (S. 53–66). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gobert, J.D., & Buckley, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891–894.
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering Students' Epistemologies of Models via Authentic Model-Based Tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7–22.
- Gobert, J., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B., Levy, S., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and conceptual learning in biology, physics, and chemistry. *International Journal of Science Education*, 33, 653–684.
- Groebe, N., & Rustemeyer, R. (2002). Inhaltsanalyse. In E. König, & P. Zedler (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Grundlagen und Methoden* (S. 233–258). Weinheim, Basel: Beltz.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung. In P. Mayring, & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172–189). Weinheim: Beltz UTB.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger, & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105–116). Berlin: Spektrum Verlag.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Grünkorn, J., Upmeyer zu Belzen, A., & Krüger, D. (2011). Design and test of open-ended tasks to evaluate a theoretical structure of model competence. In A. Yarden, & G. Carvalho (Hrsg.), *Authenticity in biology education. Benefits and challenges* (S. 53–65). Braga: CIEC, Universidade do Minho.
- Grünkorn, J., Upmeyer zu Belzen, A., & Krüger, D. (2014). Assessing Students' Understandings of Biological Models and their Use in Science to Evaluate a Theoretical Framework. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1651–1684.
- Grünkorn, J. (2014). *Modellkompetenz im Biologieunterricht. Empirische Analyse von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mit Aufgaben im offenen Antwortformat*. Dissertation, Freie Universität Berlin. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000015696/Dissertation_Gruenkorn.pdf?hosts=
- Günther, J. (2006). *Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften: Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*. Berlin: Logos.

- Halloun, I. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Springer.
- Hamilton, L. S., Nussbaum, E. M., & Snow, R. E. (1997). Interview Procedures for Validating Science Assessments. *Applied Measurement in Education*, 10(2), 181–200.
- Hanke, U. (2006). *Externale Modellbildung als Hilfe bei der Informationsverarbeitung und beim Lernen*. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/CKW2QD3YRRMACW4ZKSUU3VUDNZ2XPYXY/full/1.pdf>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Hartig, J., & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 128–143). Berlin: Springer.
- Heller, K. A., & Perleth, C. (2000). *KFT 4-12R - Kognitiver Fähigkeits-Test für 4. bis 12. Klassen, Revision*. Göttingen: Hogrefe.
- Henze, I., Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37, 99–122.
- Hesse, M. B. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In C. Bernardini (Hrsg.), *Thinking physics for teaching* (S. 25 – 65). New York: Plenum.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22, 85–142.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553.
- Hof, S., & Mayer, J. (2008). Förderung von wissenschaftlichen Kompetenzen durch forschendes Lernen. Ein Vergleich zwischen direkter Instruktion und Guided-Scientific-Inquiry. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, T. Riemeier, & K. Niebert (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 7* (S. 69 – 83). Kassel: Universitätsdruckerei.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modelling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10(4), 319–345.
- Hopf, C., & Schmidt, C. (1993). *Zum Verhältnis von innerfamilialen sozialen Erfahrungen, Persönlichkeitsentwicklung und politischen Orientierungen. Dokumentation und Erörterung des methodischen Vorgehens in einer Studie zu diesem Thema*. Vervielfältigtes Manuskript, Universität Hildesheim, Institut für Sozialwissenschaften.
- Jackson, S., Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1994). Making dynamic modeling accessible to precollege science students. *Interactive Learning Environment*, 4, 233–257.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (1989). Only reasoning. *Journal of Memory and Language*, 28, 313–330.

- Johnson-Laird, P. N. (1993). *Human and machine thinking*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research and Development*, 39(3), 5–14.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369–1386.
- Khishfe, R. (2008). The development of seventh graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(4), 470–496.
- Klein, S. P. (1995). *Racial/ethnic differences and the relationships among measures: Do performance assessments narrow or widen the gap between population groups; do performance assessments measure something different?* Paper presented at the RAND/NSF Conference on Performance Assessment in Science and Mathematics, Washington, DC.
- Klieme, E., & Hartig, J. (2007). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In M. Prenzel, I. Gogolin, & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 8* (S. 11–29). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Klieme, E., Maag-Merki, K., & Hartig, J. (2007). Kompetenzbegriff und Bedeutung von Kompetenzen im Bildungswesen. In J. Hartig, & E. Klieme (Hrsg.), *Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik* (S. 5–15). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. München: Luchterhand.
- Knoblich, G., & Öllinger, M. (2006). Die Methode des Lauten Denkens. In J. Funke, & P. A. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der allgemeinen Psychologie – Kognition* (S. 691–696). Göttingen: Hogrefe.
- Knuuttila, T. (2005). Models, representation, and mediation. *Philosophy of Science*, 72, 1260–1271.
- Krell, M., Upmeyer zu Belzen, A., & Krüger, D. (2012). Students' understanding of the purpose of models in different biological contexts. *International Journal of Biology Education*, 2, 1–34. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://www.ijobed.com/2_2/Moritz-2012.pdf
- Krell, M. (2013). *Wie Schülerinnen und Schüler biologische Modelle verstehen: Erfassung und Beschreibung des Modellverstehens von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I* (Dissertation). Berlin: Logos.
- Kremer, K., Urhahne, D., & Mayer, J. (2009). Naturwissenschaftsverständnis und wissenschaftliches Denken bei Schülerinnen und Schülern der Sek. I. In U. Harms, & A. Sandmann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (Band 3, S. 29–43). Innsbruck: Studienverlag.

Kremer, K. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen. Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I*. Dissertation, Universität Kassel. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2010091734623/7/DissertationKerstinKremer.pdf>

Krohs, U. (2008). How Digital Computer Simulations Explain Real-World Processes. *International Studies in the Philosophy of Science*, 22(3), 277-292.

Krüger, D. (2003). Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung - ein Forschungsrahmen für die Biologiedidaktik. In: H. Vogt, D. Krüger, & U. Unterbruner (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik, 5. Frühjahrsschule in Salzburg 2003* (S. 7-24). Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2003/2003_01_Krueger.pdf

Krüger, D., & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse - eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133-146). Berlin: Springer.

Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten* (3. aktualisierte Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Lakoff, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago, London: The University of Chicago Press.

Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Book.

Lederman, N. G. (2008). Nature of Science: Past, Present, and Future. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 831-879). New York: Routledge.

Legrenzi, P., Girotto, V., & Johnson-Laird, P. N. (1993). Focussing in reasoning and decision making. *Cognition*, 49, 37-66.

Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific Thinking and Science Literacy. In K. A. Renninger, W. Damon, I. E. Sigel, & R. M. Lerner (Hrsg.), *Handbook of child psychology* (S. 153-196). Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.

Leisner, A. (2005). Modellkompetenz im Physikunterricht. In H. Giest (Hrsg.), *Lern- und Lehr-Forschung: LLF-Berichte 20* (S. 35-50). Potsdam: Universitätsverlag Potsdam.

Leopold, C., & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, 22, 16-26.

Lesh, R., & Doerr, H.M. (2000). Symbolizing, communicating, and mathematizing: Key components of models and modeling. In P. Cobb, E. Yackel, & K. McClain (Hrsg.), *Symbolizing and communicating in mathematics classrooms: Perspectives on discourse, tools, and instructional design* (S. 361-383). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Leutner, D., & Opfermann, M. (2013). Selbstreguliertes Lernen mit Texten und Bildern im naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. E. Fischer, & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 100. nwu-essen - 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 209-249). Berlin: Logos Verlag.

Linder, C., & Marshall, D. (2003). Reflection and phenomenography: towards theoretical and educational development possibilities. *Learning and Instruction*, 13(3), 271-284.

- Mahr, B. (2008). Ein Modell des Modellseins: Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In U. Dirks, & E. Knobloch (Hrsg.), *Modelle* (S. 187–218). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Mahr, B. (2009). Die Informatik und die Logik der Modelle. *Informatik Spektrum*, 32, 228–249.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603–630.
- Maier, U. (2010). Formative Assessment – Ein erfolgversprechendes Konzept zur Reform von Unterricht und Leistungsmessung? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13(2), 293–308.
- Mäki, U. (2009). MISSING the world: Models as isolations and credible surrogate systems. *Erkenntnis*, 70, 29–43.
- Mandl, H. (2006). Wissensaufbau aktiv gestalten. In G. Becker, I. Behnken, H. Gropengießer, & N. Neuß (Hrsg.), *Lernen* (S. 28–30). Seelze: Friedrich Verlag.
- Martschinke, S. (2001). *Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen. Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule*. Münster: Waxmann.
- Matthews, M.R. (2000). *Time for Science Education. How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger, & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Berlin: Springer.
- Mayer, R. E. (1994). Visual aids to knowledge construction: Building mental representations from pictures and words. In W. Schnotz, & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 125–138). Amsterdam: Elsevier.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (1990). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. München: Psychologie Verlags Union.
- Mayring, P. (2005). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim & Basel: Beltz.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis: Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *ZfdN*, 14, 243–261.
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie: Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *MNU*, 62(7), 424–430.
- Mendonça, P., & Justi, R. (2011). Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41, 479–503.

Moormann, M. (2009). *Begriffliches Wissen als Grundlage mathematischer Kompetenzentwicklung – Eine empirische Studie zu konzeptuellen und prozeduralen Aspekten des Wissens von Schülerinnen und Schülern zum Ableitungsbegriff*. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://edoc.ub.uni-muenchen.de/10887/1/moormann_marianne.pdf

Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan, & M. Morrison (Hrsg.), *Models as mediators. Perspectives on natural and social sciences* (S. 10–37). Cambridge, NY: Cambridge University Press.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Hrsg.), *Cognitive models of science* (S. 3–45). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (Hrsg.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (S. 5–22). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. P. Stich, & M. Siegal (Hrsg.), *The cognitive basis of science* (S. 133–153). Cambridge, New York: Cambridge University Press.

Nersessian, N. J. (2005). Interpreting scientific and engineering practices: Integrating the cognitive, social, and cultural dimensions. In M. Gorman, R. Tweney, D. Gooding, & A. Kincannon (Hrsg.), *Scientific and Technological Thinking* (S. 17–56). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Nersessian, N.J. (2008). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge, MA: MIT Press.

Oeser, E. (1988). Bewusstsein und Erkenntnis. In E. Oeser, & F. Seitelberger (Hrsg.), *Gehirn, Bewußtsein und Erkenntnis. Dimensionen der modernen Biologie* (S. 123–190). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.

Organisation for the Economic Co-operation and Development (2001). *Lernen für das Leben. Erste Ergebnisse der internationalen Schulleistungstudie PISA 2000*. Paris: OECD.

Orsenne, J., & Upmeyer zu Belzen, A. (2012). Ein Unterrichtskonzept zur Wirbelsäule. In J. Fleige, A. Seegers, A. Upmeyer zu Belzen, & D. Krüger (Hrsg.), *Modellkompetenz im Biologieunterricht Klasse 7 -10. Phänomene begreifbar machen in 11 komplett ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten* (S. 29–33). Donauwörth: Auer.

Orsenne, J. (2013). Eine Herzensangelegenheit - Das komplexe Phänomen „Herzinfarkt“ zeichnen, bauen und verstehen. *Grundschule*, 6, 20–22.

Orsenne, J., Herget, A., & Wieder, B. (2013). Fragen zum Blut selbst erforschen – Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung mit Modellen. *Weltwissen Sachunterricht*, 1, 20–27.

Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens - Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. München, Wien: Profil Verlag GmbH.

- Passmore, C., Gouvea, J., & Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In: M. R. Matthews (Hrsg.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (S. 1171-1202). Heidelberg: Springer Dordrecht.
- Patzke, C. (2010). *Validierung von Aufgaben zur Diagnose kognitiver Prozesse bei Schülerinnen und Schülern der 10. Jahrgangsstufe*. Unveröffentlichte Wissenschaftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Amt des Studienrats, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Patzke, C., Krüger, D., & Upmeyer zu Belzen, A. (2013). Development of students' understanding of models and modelling in biology education – A longitudinal study with students aged 13-16. In *Proceedings of the 10th European Science Education Research Association (ESERA)*. Zugang am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.esera2013.org.cy/proposal-view.2/?abstractid=1669>
- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R., & Schauble, L. (1997). Building Functional Models: Designing an Elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125–143.
- Piaget, J. (1976). *Die Äquilibration der kognitiven Strukturen*. Stuttgart: Klett Verlag.
- präterieren (1997). Def. 1. In Duden - Das Fremdwörterbuch (6. Aufl.). Mannheim u.a.: Dudenverlag.
- Prenzel, M., Häußler, P., Rost, J., & Senkbeil, M. (2002). Der PISA Naturwissenschaftstest: Lassen sich die Aufgabenschwierigkeiten vorhersagen? *Unterrichtswissenschaft*, 30(1), 120–135.
- Raghavan, K., & Glaser, R. (1995). Model-based analysis and reasoning in science: The MARS curriculum. *Science Education*, 79, 37-61.
- Randhawa, B. (1994). Theory, research, and assessment of mathematical problem solving. *The Alberta Journal of Educational Research*, XL(2), 213-231.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 346-362.
- Rösch, H. (2003). *Deutsch als Zweitsprache: Grundlagen, Übungsideen, Kopiervorlagen zur Sprachförderung*. Hannover: Schroedel.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18, 561-580.
- Rudolph, J. L. (2000). *Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component*. *J. Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- Ruiz-Primo, M. A., & Shavelson, R. J. (1996). Rhetoric and Reality in Science Performance Assessments: An Update. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1045–1063.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333–1352.

- Schank, R.C., & Abelson, R. (1977). *Scripts, Plans, Goals, and Understanding*. Hillsdale, NJ: Earlbaum Assoc.
- Schanze, S. (2004). Concept Mapping im Projekt med:u - eLearning in der medizinischen Lehre. Ein methodisches Mittel zur Strukturierung komplexer Sachverhalte und zur Kontrolle des Lernerfolgs. In D. Meister, S. O. Tergan, & P. Zentel (Hrsg.), *Evaluation von E-Learning. Zielrichtungen, methodologische Aspekte, Zukunftsperspektiven* (S. 171-187). Münster: Waxmann.
- Schecker, H., & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *ZfdN*, 12, 45–66.
- Schneider, M. (2006). *Konzeptuelles und prozedurales Wissen als latente Variablen: Ihre Interaktion beim Lernen mit Dezimalbrüchen*. Dissertation, TU Berlin. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/1215>
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung bei Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz.
- Schön, D.A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–203.
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158–186.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Schwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modelling: Making Scientific Modelling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L., & Fortus, D. (2012). MoDeLS: Challenges in defining a learning progression for scientific modeling. In A. C. Alonzo, & A. W. Gotwals (Hrsg.), *Learning progressions in science. Current challenges and future directions* (S. 101–137). Rotterdam: Sense.
- Seel, Norbert M. (1991): *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Selting, M., Barden, B., & Bergmann, J. (1998): "Gesprächsanalytisches Transkriptionssystem (GAT)". In *Linguistische Berichte* 173 (S. 91-122). Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.mediensprache.net/de/medienanalyse/transcription/gat/gat.pdf>
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (2006). *Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I: Biologie*. Berlin: Oktoberdruck AG.
- Shavelson, R. J., Baxter, G. P., & Gao, X. (1993). Sampling Variability of Performance Assessments. *Journal of Educational Measurement*, 30(3), 215–232.
- Shavelson, R. J., & Ruiz-Primo, M. A. (1999). Leistungsbewertung im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 27(2), 102–127.
- Sins, P., Savelsbergh, E., & Joolingen, W. R. van (2005). The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27, 1695–1721.

Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., Joolingen, W. R. van, & Hout-Wolters, B. H. A. M. van. (2009). The Relation between Students' Epistemological Understanding of Computer Models and their Cognitive Processing on a Modelling Task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205–1229.

Snir, J., Smith, C. L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter. *Science Education*, 87, 794–830.

Spitulnik, M., Krajcik, J., & Soloway, E. (1999). Construction of models to promote scientific understanding. In W. Feurzeig, & N. Roberts (Hrsg.), *Modeling and simulation in science and mathematics education* (S. 70 – 94). New York: Springer-Verlag.

Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.

Stachowiak, H. (1983). Erkenntnisstufen zum systematischen Neopragmatismus und zur Allgemeinen Modelltheorie. In H. Stachowiak (Hrsg.), *Modelle. Konstruktion der Wirklichkeit* (S. 87–146). München: Fink.

Stage, E. (1995). *What issues remain?* Paper presented at the RAND/NSF Conference on Performance Assessment in Science and Mathematics, Washington, DC.

Stebler, R., Reusser, K., & Ramseier, E. (1998). Praktische Anwendungsaufgaben zur integrierten Forderung formaler und materialer Kompetenzen. Erträge aus dem TIMSS-Experimentiertest. *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 20(1), 28–53.

Stecher, B. M., & Klein, S. (1996). *Performance Assessments in Science: Hands-On-Tasks and Scoring Guides*. Santa Monica, CA: RAND.

Steiner, G. (2001). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp, & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie: Ein Lehrbuch* (S. 137–205). Weinheim: Beltz.

Stephens, S.-A., McRobbie, C. J., & Lucas, K. B. (1999). Model-Based Reasoning in a Year 10 Classroom. *Research in Science Education*, 29(2), 189–208.

Stewart, J., Cartier, J.L., & Passmore, C.M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. In M.S. Donovan, & J.D. Bransford (Hrsg.), *How students learn* (S. 515–565). Washington, DC: National Research Council.

Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl, & R. J. Hamilton (Hrsg.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (S. 147–176). Albany, NY: SUNY Press.

Terhart, E. (1999). Konstruktivismus und Unterricht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45, 629–647.

Terzer, E., Patzke, C., & Upmeyer zu Belzen, A. (2012). Validierung von Multiple-Choice Items zur Modellkompetenz durch lautes Denken. In U. Harms, & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (S. 45–62). Innsbruck: Studienverlag.

Terzer, E. (2013). *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht – Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/terzer-eva-2012-12-19/PDF/terzer.pdf>

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2001). Students' concept of models: An epistemological and ontological perspective. *Proceedings Western Australian Institute for Educational Research Forum 2000*. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.waier.org.au/forums/2001/treagust.html>

Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.

Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34, 1–20.

Trier, U., & Upmeier zu Belzen, A. (2009). „Die Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist.“: Schülervorstellungen zu Modellen. In D. Krüger, A. Upmeier zu Belzen, S. Hof, K. Kremer, & J. Mayer (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 8* (S. 23–37). Kassel: Universität Kassel.

Trier (2013). „Modelle sind künstlich ...“ – Schülervorstellungen zu Modellen in der Grundschule. *Grundschule*, 45 (6), 12–14.

Trier, U., Upmeier zu Belzen, A., & D. Krüger (2014). Students' versus Scientists' Conceptions of Models and Modelling. *Proceedings of the 9th Conference of European Researchers in Didactics of Biology*. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/eridob_2012/eridob_proceeding/7-Students_Versus.pdf

Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfdN*, 16, 41–57.

Urhahne, D., Kremer, K., & Mayer, J. (2008). Welches Verständnis haben Jugendliche von der Natur der Naturwissenschaften? Entwicklung und erste Schritte zur Validierung eines Fragebogens. *Unterrichtswissenschaft*, 36, 72–94.

Van Driel, J., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141–1153.

Van Driel, J., & Verloop, N. (2002). Experienced teacher's knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24, 1255–1277.

Van Fraassen, B. C. (1980). *The scientific image*. New York: Clarendon Press.

van Koolwijk, J. (1974). Die Befragungsmethode. In J. van Koolwijk, & M. Wieken-Mayser (Hrsg.), *Techniken der empirischen Sozialforschung, Band 4: Die Befragung*. München: Oldenbourg.

Veenman, M. V. J. (2005). The Assessment of Metacognitive Skills: What can be learned from multi-method designs? In C. Artelt, & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 77–99). Münster: Waxmann.

Vollebregt, M. (1998). *A problem-posing approach to teaching an initial particle model*. Centre for Science and Mathematics Education, Utrecht University.

Völzke, K. (2012). Lautes Denken bei kompetenzorientierten Diagnoseaufgaben zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. In Zentrum für Lehrerbildung der Universität Kassel (Hrsg.), *Reihe Studium und Forschung* (Heft 20). Kassel: University Press.

Von Aufschnaiter, S., Fischer, H. E., & Schwedes, H. (1992). Kinder konstruieren Welten. Perspektiven einer konstruktivistischen Physikdidaktik. In S. J. Schmidt (Hrsg.), *Kognition und Gesellschaft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Von Falkenhausen, E. (1988). *Wissenschaftspropädeutik im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe* (2. Auflage). Köln: Aulis.

Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213–1230.

Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, & N. J. Nersessian (Hrsg.), *Model-based reasoning. Science, technology, values* (S. 353–368). New York: Kluwer Academic.

Wahl, K., Honig, M.S., & Gravenhorst, L. (1982). *Wissenschaftlichkeit und Interessen. Zur Herstellung subjektivitätsorientierter Sozialforschung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Wales, J., & Sanger, L. (2001). *Wikipedia*, Zugriff am 01.04.2015. Verfügbar unter <http://de.wikipedia.org>

Wang, Z., Chi, S., Hu, K., & Chen, W. (2014). Chemistry Teachers' Knowledge and Application of Models. *Journal of Science Education and Technology*, 23, 211–226.

Weber, N (2014). Medizin-Nobelpreis: Zell-Express im menschlichen Körper. *Spiegel Online*. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/nobelpreis-fuer-medizin-2013-reisen-per-zell-express-a-926468.html>

Weidle, R., & Wagner, A. C. (1994). Die Methode des Lauten Denkens. In G. L. Huber, & H. Mandl (Hrsg.), *Verbale Daten. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung* (S. 81–103). Weinheim: Beltz.

Weinert, F. E. (2001). Concepts of Competence: A Conceptual Clarification. In D. S. Rychen, & L. H. Salganik (Hrsg.), *Defining and selecting key competencies* (S. 45–65). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.

White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3–118.

Wiggins, G. (1989). A true test: Toward more authentic and equitable assessment. *Phi Delta Kappan*, 70(9), 703–713.

Wilson, J., & Clarke, D. (2004). Towards the Modelling of Mathematical Metacognition. *Mathematics Education Research Journal*, 16(2), 25–48.

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.

Wirtz, M. A., & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.

Yin, Y., Vanides, J., Ruiz-Primo, M. A., Ayala, C. C., & Shavelson, R. J. (2005). Comparison of two concept-mapping techniques: Implications for scoring, interpretation, and use. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 166–184.

Anhang

Begrüßung und Einleitung	151
Einführung in die Methode des Lauten Denkens	152
Das virtuelle Herz als Beispiel wissenschaftlicher Modellbildung	153
Finaler Interviewleitfaden nach der Pilotierung	154
Pilotierungsaufgabe zur Funktionsweise der Schwimmblase bei Fischen	155
Pilotierungsaufgabe zur Funktionsweise der menschlichen Wirbelsäule	158
Codierleitfäden zur Auswertung der Daten	161
I. Eigenschaften von Modellen	162
II. Alternative Modelle	163
III. Zweck von Modellen	164
IV. Testen von Modellen	166
V. Ändern von Modellen	167
VI. Prozess der Modellbildung	169
VII. Nature of Science	170
Expertenmap zum Kontext Arteriosklerose/Herzinfarkt	171

Begrüßung und Einleitung

Erst einmal vielen Dank, dass du Dich bereit erklärt hast, mir zu helfen.

Mein Name ist ... und ich komme von ... Universität.

Ich interessiere mich dafür, was du über Modelle in der Biologie denkst und wie du sie anwendest. Ich bin auf deine Mitarbeit angewiesen und hoffe, dass du mich tatkräftig unterstützt.

Dieses Interview ist kein Test, es gibt kein richtig oder falsch und natürlich keine Noten. Dein Lehrer/in wird nicht erfahren, was du geantwortet hast. Ich interessiere mich für deine Ideen und deine Vorstellungen, die Dir spontan zu meinen Fragen einfallen.

Spreche also alles so aus, wie es Dir durch den Kopf geht. Mache Dir dabei keine Gedanken, wie du formulierst. Nimm Dir Zeit, um deine Gedanken auszusprechen. Deine Ideen und die von anderen Schülern sollen helfen, den Unterricht besser für Schüler zu gestalten.

Das Interview möchte ich gerne mit der Videokamera und einem Tonbandgerät aufzeichnen, da ich mir jetzt natürlich nicht alles merken kann. Bist Du damit einverstanden? Lass Dich von der Kamera nicht stören!

Einführung in die Methode des Lauten Denkens

Im Interview bekommst du an einigen Stellen von mir solche Karten (zeigen), die du **bitte immer laut vorliest**. Darauf stehen entweder Informationen oder kleine Aufgaben, über die wir dann gemeinsam reden. Auf zwei Karten sind Aufgaben, für die du selbst etwas machen musst.

Dabei interessiert mich sehr, was du denkst. Da ich aber nicht in deinen Kopf reingucken und sehen kann, was du gerade denkst, ist es ganz wichtig, dass du alles laut aussprichst, was dir durch den Kopf geht. Du denkst also laut.

Es ist ein bisschen so, als wenn du mit dir selber reden würdest. Auch wenn es dir zum Anfang vielleicht komisch vorkommt oder dir manche Sachen nicht so wichtig erscheinen: Für mich sind alle deine Gedanken sehr wichtige Informationen. Es ist entscheidend, dass du wirklich alles aussprichst, was du denkst.

Damit du dich ein wenig an das laute Denken gewöhnst, probieren wir das an einem Beispiel aus.

Wenn du länger nichts sagst oder ich das Gefühl habe, du denkst zwar etwas, sprichst es aber nicht aus, werde ich dich einfach kurz daran erinnern und sagen: „Denke bitte laut; Sprich weiter!“

Beispielaufgabe I: Bilderrätsel

Welches Tier verbirgt sich hinter den Bildern? Sprich deine Gedanken laut aus!



Wie hast du dich dabei gefühlt?

Es muss dir nicht unangenehm sein.

Wirklich alle deine Gedanken sind sehr wichtig für mich. Meinst du, dass du alles ausgesprochen hast, was dir durch den Kopf gegangen ist? Versuche, wirklich alles laut auszusprechen. Noch ein Beispiel:

Beispielaufgabe II: Anagramm

Welches Wort verbirgt sich hinter dem Anagramm?

D O L L E M

Wie du vielleicht bemerkt hast, habe ich Dir nicht durch Kopfnicken oder Gesichtsausdrücke gezeigt, ob etwas richtig oder falsch ist. Erstens gibt es ja keine richtigen und falschen Gedanken und zweitens geht es hier allein darum, was DU denkst. Deswegen werde ich auch nichts kommentieren.

Nach dem Interview können wir jedoch gerne über Dinge, die dich interessieren, sprechen. Hast du noch Fragen?

Das virtuelle Herz als Beispiel wissenschaftlicher Modellbildung

Das virtuelle Herz als lebensechtes Modell

- ComputermodeLL v. Mathematikern, Biologen, Informatikern weltweit
- von einzelner Herzmuskelzelle bis hin zum kompletten Organ soll lebensechtes Organ entstehen
- bildliche Darstellung aller Abläufe, die elektrochemischen Aktivitäten von Millionen Zellen, den präzise abgestimmten Vorgang des Pumpens, verstopfte Arterien, geschwächten Muskeln
- Testen der Modelle: Vergleich mit den klinischen Daten von freiwilligen Probanden

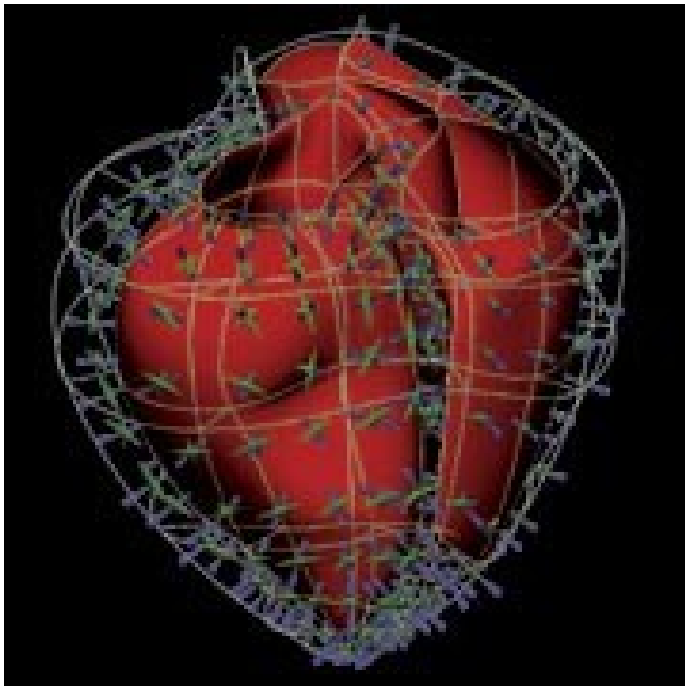


Foto: Steve Double

Quelle: Freedman, D.H. (2004). Das virtuelle Herz. *Technology Review*, 4, 50-54.

Finaler Interviewleitfaden nach der Pilotierung

Frage	Impuls / Nachfrage	Ziel (Theorie)
EINSTIEG		
Stell Dir vor, jemand weiß nicht, was ein Modell ist. Wie würdest du es ihm beschreiben?	Nenne (weitere) Beispiele für Modelle! Beschreibe, wozu man Modelle nutzen kann!	<i>Eigenschaften von Modellen, Zweck von Modellen</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>kinds of models, purpose of models</i> (Grosslight et al., 1991; Trier, in vorb.)
JEWELNS NACH MODELLBILDUNGEN		
Beschreibe, wozu du dein Modell einsetzen kannst!	Fällt Dir noch etwas anderes ein, was man mit deinem Modell machen könnte?	<i>Zweck von Modellen</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>purpose of models</i> (Grosslight et al., 1991; Trier, in vorb.)
Erkläre Schritt für Schritt, wie du überprüfen kannst, ob dein Modell brauchbar ist!	<i>Sollte im Internet schauen kommen:</i> Wie genau überprüfst du dann dein Modell? <i>Sollte Autorität fragen kommen:</i> Und was glaubst du, wie Person X etwas über die Erkrankung herausgefunden hat? Wie kannst du deine Vermutung mit deinem Modell überprüfen?	<i>Testen von Modellen</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>purpose of models</i> (Grosslight et al., 1991) <i>Prozess der Modellbildung</i> (Justi & Gilbert, 2002)
Stell dir vor, dein Modell ist nicht brauchbar (ggf. konkret benennen). Beschreibe, was du dann machen würdest!	Was könnte (noch) dazu führen, dass du dein Modell ändern musst?! Und was würdest du konkret machen, wenn du merkst, dass... (Grund aufgreifen!)	<i>Ändern von Modellen</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>changing a model</i> (Grosslight et al. (1991; Trier, in vorber.)
NACH ZWEITER MODELLBILDUNG		
Begründe, inwiefern dein Modell so aussieht wie ein echter Herzinfarkt!	Begründe, ob man auch ein Modell nutzen kann, dass sich sehr von einem echten Herzinfarkt unterscheidet!	<i>Eigenschaften von Modellen</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>designing and creating models</i> (Grosslight et al. (1991)
Beschreibe, ob es zum Herzinfarkt verschiedene Modelle geben kann!	<i>Impuls: Präsentation alternativer Modelle aus dem schul- und wissenschaftlichen Kontext</i> Begründe, warum es verschiedene Modelle zum Herzinfarkt gibt! Worin unterscheiden sich die Modelle?	<i>Alternative Modelle</i> (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) <i>multiple models</i> (Grosslight et al., 1991; Trier (in vorber.)
Du hast das Modell gebaut. Wie gehen wohl Wissenschaftler vor?	<i>Impuls: Präsentation virtuelles Herz als Beispiel wissenschaftlicher Modellbildung</i>	Prozess der Modellbildung (Justi & Gilbert, 2002; Trier, in vorber.)

Pilotierungsaufgabe zur Funktionsweise der Schwimmblase bei Fischen

1

Interessant!

Fische sinken nicht wie ein Stein auf den Boden. Viele Fische können sogar ohne Flossenbewegungen im Wasser schweben oder ihre Schwimmtiefe steuern.

Welche Frage ist für dich interessant, die du jetzt gern näher untersuchen möchtest?

Die Frage wird auf einem Blatt festgehalten

Um mehr über dieses Phänomen zu erfahren, bekommst du von mir die Informationskarte:

2

Informationskarte

Die Schwimmblase bei Fischen

Fische steuern ihre Schwimmtiefe mit der Schwimmblase. Die Schwimmblase befindet sich im Körper der Fische. Sie ist dehnbar und mit Luft gefüllt.

Schreibe kurz und knapp eine Vermutung zu deiner Frage auf!

Diese Vermutung wird auf dem Blatt unter der Frage festgehalten!

3

Aktionskarte I



Denke Dir ein Modell zur Schwimmblase aus!

Fertige eine Zeichnung an und beschrifte sie!

Erkläre dabei, was du aus welchem Grund zeichnest.

4

Aktionskarte II



Baue dein Modell von der Schwimmblase mit Materialien aus der Kiste!

Untersuche mit deinem Modell deine Vermutung!

Beschreibe dabei, was du machst und was du beobachtest.

5

Und deine Vermutung???

Beschreibe, was du über deine Vermutung sagen kannst, die du am Anfang formuliert hast!

Blatt mit Vermutung zeigen!

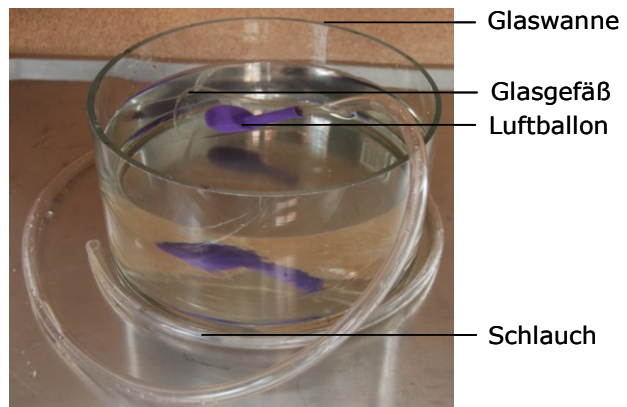
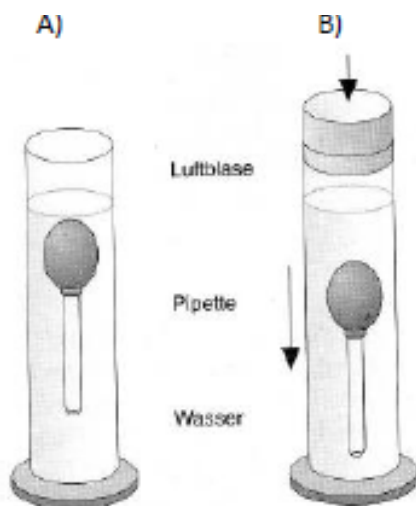
- A) Wenn Vermutung richtig, Häkchen dahinter, Karte 6 zeigen
- B) wenn Vermutung falsch:
 - Und jetzt?
 - Formuliere eine neue Vermutung!
 - Beschreibe, wie du weiter vorgehen würdest!

6 Neue Informationen über die Schwimmblase

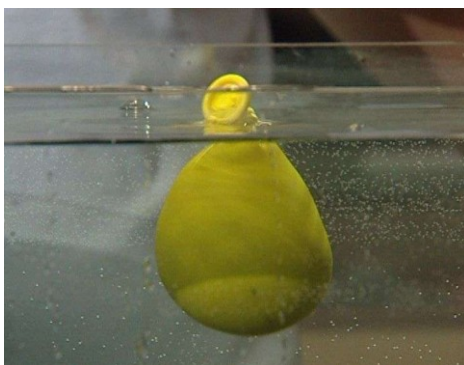
Die Größe der Schwimmblase hängt mit der Schwimmtiefe zusammen. Die Schwimmblase wird kleiner, je tiefer der Fisch taucht.

Nur, wenn Schüler/in nichts sagt: *Erkläre, wie du dein Modell verändern müsstest, um die neuen Informationen zu berücksichtigen!*

Präsentation Alternativer Modelle



Schwimmblasenmode



Schwimmblasenmodell

Kisteninhalt:

- Kiste
- Wasser
- Spritze
- Luftballon (kleine und große!)
- Erlenmeyerkolben
- Schlauch
- leere Wasserflasche (klein für Schüssel passend und groß!)
- abgeschnittene Flasche
- Baustein
- Pipette
- Reagenzglas
- Stopfen
- Trinkhalm
- Gummihandschuh
- 2 volle Flaschen Wasser
- Verschiedene kleine Gewichte

Pilotierungsaufgabe zur Funktionsweise der menschlichen Wirbelsäule

1

Interessant!

Die menschliche Wirbelsäule trägt das gesamte Körpergewicht eines Menschen. Gleichzeitig ist sie so biegsam, dass wir Menschen unseren Körper in alle Richtungen beugen können.

Welche Frage ist für dich interessant, die du jetzt gern näher untersuchen möchtest?

Die Frage wird auf einem Blatt festgehalten!

Um mehr über die Wirbelsäule zu erfahren, bekommst du von mir die Informationskarte.

2

Informationskarte

Die Wirbelsäule des Menschen ist wie ein doppeltes „S“ geformt. Dadurch kann der Mensch aufrecht stehen und gehen und Belastungen können abgefedert werden. Die Wirbelsäule besteht aus stabilen Knochen, den Wirbelknochen. Zwischen den Wirbelknochen liegen dünne, verformbare Scheiben, die Bandscheiben. Muskeln und Bänder verbinden die Bandscheiben und Wirbelknochen zu einer biegsamen Säule.

Schreibe kurz und knapp eine Vermutung zu deiner Frage auf!

Diese Vermutung wird auf dem Blatt unter der Frage festgehalten!

3

Aktionskarte I



Denke Dir ein eigenes Modell zur Wirbelsäule aus!

Fertige eine Zeichnung an!

Erkläre dabei, was du aus welchem Grund zeichnest.

4

Aktionskarte II



Baue dein Modell von der Wirbelsäule mit Materialien aus der Kiste!

Untersuche mit deinem Modell deine Vermutung!

Beschreibe dabei, was du machst und was du beobachtest.



5 Und deine Vermutung???

Beschreibe, was du über deine Vermutung sagen kannst, die du am Anfang formuliert hast!

Blatt mit Vermutung zeigen!

- C) Wenn Vermutung richtig, Häkchen dahinter, Karte 6 zeigen
- D) wenn Vermutung falsch:
 - Und jetzt?
 - Formuliere eine neue Vermutung!
 - Beschreibe, wie du weiter vorgehen würdest!

6 Neue Informationen über die Wirbelsäule

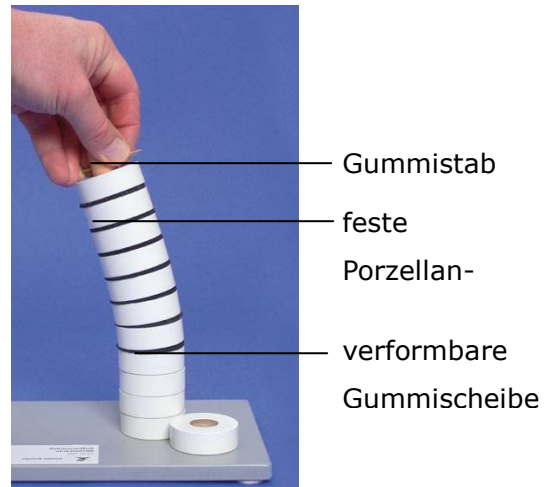
Die äußere feste Hülle der Bandscheiben kann zerstört werden, wenn man längere Zeit zu schwere Dinge trägt. Dadurch kann eine zähflüssige Masse aus der Bandscheibe auslaufen und auf Nerven in der Wirbelsäule drücken. Dies führt zu Schmerzen an dieser Stelle. Diese Erkrankung der Wirbelsäule wird „Bandscheibenvorfall“ genannt.

Nur, wenn Schüler/in nichts sagt: *Erkläre, wie du dein Modell verändern müsstest, um die neuen Informationen zu berücksichtigen!*

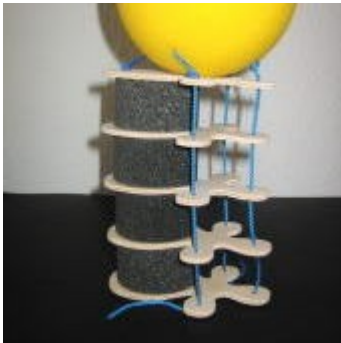
Präsentation Alternativer Modelle



Modell 1: Drahtmodell der Wirbelsäule



Modell 2: Scheibenmodell der Wirbelsäule



Kisteninhalt:

- Biegsamer Draht
- Sperrholzplatte
- Schaumkugeln
- Pappe
- Schaumstoff (unterschiedliche Dicke)
- Moosgummi
- Porzellanscheiben
- Schere
- Doppelseitiges Klebeband
- Schnüre
- Holzstab
- Gummistab
- Rohr
- Zirkel
- Reißzwecken
- Verpackungsmaterial
- Schlauch
- Wolle
- Radiergummis, Knete

Codierleitfäden zur Auswertung der Daten

Allgemeine Codierregeln für die Auswertung der Schülerantworten

Es werden **minimal ganze Sätze** und **maximal ganze Absätze** den Codes zugeordnet, wenn das für die Verständlichkeit der Argumentation bzw. deren Einordnung notwendig ist.

Bei Unsicherheiten bezüglich der Zuordnung oder diskussionswürdigen Auffälligkeiten werden die entsprechenden Schüleraussagen mit einem **erklärenden Memo** versehen.

Schüleraussagen können auch **mehreren Codes zugeordnet** werden.

Wenn Schüleraussagen zwar zu einer Teilkompetenz, aber nicht den Niveaus I, II oder III zuzuordnen sind, werden diese dem **Code „Sonstiges“** zugeteilt.

Wenn Schüleraussagen zwar einem Niveau zugeordnet werden können, allerdings kein passender Code vorhanden ist, wird ein **neuer Code hinzugefügt**. Dieser wird **durch Großbuchstaben gekennzeichnet**.

Semantisch aufeinander bezogene, aber weit entfernte **Textstellen werden verlinkt**, wenn dadurch ein besseres Verständnis erreicht wird.

Die Codierleitfäden zu den Teilkompetenzen von Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) wurden durch Juliane Grünkorn (Freie Universität Berlin) zur Auswertung von Schülerantworten im offenen Format entwickelt (Grünkorn, 2014) und mit den Pilotierungsergebnissen der vorliegenden Studie induktiv erweitert (grau hinterlegt).

Zusätzlich wurden Leitfäden zum Prozess der Modellbildung und zu den Kategorien von Nature of Science nach Kremer (2010) angefertigt.

I. Eigenschaften von Modellen

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband_in/Zeit)
I	Modell für Verständlichkeit <ul style="list-style-type: none"> der didaktische Nutzen steht im Vordergrund der Argumentation, über die konkrete Nähe zwischen Modell und Original wird nicht explizit eingegangen 	<i>Ich glaube es ist schwer (ein sehr vom Original zu unterscheidendes Modell zu nutzen), weil wenn einem das dann erklärt wird, dann versteht man das ja nicht unbedingt. (Lafu 00:18:47-6)</i>
	Modell als Kopie <ul style="list-style-type: none"> Modell gleicht dem Original Modell als vergrößerte/verkleinerte Kopie des Originals 	<i>Aber sinnvoller ist es, wenn man wirklich ein ordentliches Modell nimmt, was der Realität entspricht, also wo jeder sich das ableiten kann (Stuhl 00:05:01-0)</i>
	Modell mit großer Ähnlichkeit <ul style="list-style-type: none"> Modell ähnelt dem Original oder nahezu originalgetreues Duplikat des Originals 	<i>Also eigentlich (muss ein Modell zum Original) nicht so genau (sein), aber halbwegs genau (Lafu 00:26:47-2)</i>
	Modell ist in Teilen eine Kopie <ul style="list-style-type: none"> Modell gleicht nur in bestimmten Merkmalen dem Original 	<i>Also im Groben sind sie glaube ich alle so ziemlich gleich, weil es so Bestandteile gibt, die müssen halt einfach da sein, zum Beispiel der Herzmuskel oder die Blutgefäße. (iak 45:21)</i>
II	Modell als fokussierte Darstellung <ul style="list-style-type: none"> Funktionen sind im Mittelpunkt der Argumentationen, SuS gehen oft von ihren Funktionsmodellen aus 	<i>Auf jeden Fall (kann man Modelle nutzen, die sich sehr stark von einem Herzinfarkt unterscheiden), weil wie gesagt, ich hatte ja vorhin auch das Beispiel einer Pumpe nahe gelegt. Und das Herz ist ja nun mal nichts anders und das (kann man) auch wirklich an so einer Wasserpumpe oder sowas erklären. Das eben kein Wasser mehr durchfließt. (Man kann zum Original unähnliche Modelle nutzen), weil das das gleiche Prinzip ist. (Maus 00:29:27-9)</i>
	MODELL ALS IDEALISIERTE REPRÄSENTATION <ul style="list-style-type: none"> SuS beschreiben ein abstraktes Verhältnis zwischen Modell und Original, ohne bestimmte Teile oder einen Fokus zu betonen übereinstimmende/nicht übereinstimmende Merkmale werden NICHT präzisiert 	<i>Und Jugendliche, die das nur ganz schematisch brauchen, also nicht sehr komplex, denen reicht dann auch so etwas hier. Oder so etwas (zeigt auf Schülermodelle). (Anna 38:12)</i>
III	Modell als hypothetische Darstellung <ul style="list-style-type: none"> Modell wird als hypothetische Darstellung beschrieben 	<i>Ich glaube schon, dass man Modelle nutzen kann, die sich von einem echten Herzinfarkt unterscheiden, wie jetzt zum Beispiel meine Vermutung, dass das wie ein Biberdamm funktioniert. Das hat nicht wirklich was mit dem Herzinfarkt zu tun, ist aber meine Vermutung. (Ivie 00:24:11-4)</i>

II. Alternative Modelle

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband_in/Zeit)
	Nicht zuordbar <ul style="list-style-type: none"> SuS geben eine vage formulierte Antwort, die nicht eindeutig zugeordnet werden kann. 	<i>Ja, (es kann für ein Original mehr als ein Modell geben), weil jeder halt unterschiedlich denkt und sich das auch vorstellt (Ilvie S 00:33:24-2)</i>
Sonstiges	Modell als Mittel zur Verständlichkeit <ul style="list-style-type: none"> verbessert das Verständnis /erleichtert die Vermittlung 	<i>Ja, sieht man ja, (dass es für ein Original mehr als ein Modell geben kann), weil die Menschen verschiedene Ideen haben und andere das vielleicht besser verstehen, wenn sie das so sehen. (Susi 00:23:29-9)</i>
I	Unterschiedliche Modellobjekteigenschaften <ul style="list-style-type: none"> verschiedene Darstellungsweisen (u. a. 2-D/3-D, verschiedene Farben) verschiedene Modellmerkmale (u. a. beweglich/unbeweglich, weich/hart) unterschiedliche Konstruktionsmöglichkeiten (u. a. dünne/dicke Materialien, getrennte/nicht getrennte Bausteine) unterschiedliche Übersichtlichkeit, Abstraktheit, Realitätsnähe 	<i>Ja, (es kann verschiedene Modelle zu einem Original geben), weil es ganz verschiedene Möglichkeiten gibt, das darzustellen. (Cora 00:27:21-3)</i>
II	Unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte <ul style="list-style-type: none"> Komplexität des Originals ermöglicht unterschiedliche Perspektiven bzw. Foci auf das Original (u. a. innen/außen, Längs- /Querschnitt, Struktur/Funktion, verschiedene Ausschnitte bzw. Zustände des Originals) 	<i>(Es gibt verschiedene Modelle, weil) manche sind dann vielleicht nur, um den Herzinfarkt darzustellen. Andere sind vielleicht auch für andere Sachen noch ganz gut nützlich, also nicht nur Herzinfarkt, sondern den ganzen Aufbau des Herzens, oder die Bestandteile genauer. Also (um) verschiedene Sachen gleichzeitig zu erklären. (Lafu 00:23:02-8)</i>
III	Unterschiedliche Annahmen <ul style="list-style-type: none"> verschiedene Annahmen/Ideen über das Original 	<i>Na bestimmt (kann es zum Herzinfarkt verschiedene Modelle geben), weil andere Leute auch noch andere Ideen haben. Und weil die sich das auch vielleicht alle anders vorstellen. (Susi 00:17:08-7)</i>

III. Zweck von Modellen

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband_in/Zeit)
Sonstiges	Nicht zuordbar <ul style="list-style-type: none"> SuS geben eine vage formulierte Antwort, die nicht eindeutig zugeordnet werden kann. 	(Konkret) guckt man (Modelle) an. (Tisch 00:01:05-8)
	Modell als Mittel zur Zugänglichkeit <ul style="list-style-type: none"> dient dazu, Dinge für einen bestimmten Adressaten zugänglich bzw. direkt erfahrbar zu machen 	(Ein Modell) dient zur Anschauung, dass man eine bessere Vorstellung von Dingen hat, die man beispielsweise mit dem Auge einfach nicht sehen kann. (Lisa 00:33:46-3)
	MODELL ZUM AUSPROBIEREN <ul style="list-style-type: none"> dient der eigenen Durchführung, dem Ausprobieren 	Mit Modellen kann man auch irgendwas selber machen, also kann das selber darstellen oder was ausprobieren. (Nane 00:27:48-0)
	Modell als Mittel zur Verständlichkeit <ul style="list-style-type: none"> dient dem Verständnis, der Vermittlung didaktischer Nutzen wird beschrieben es wird nicht deutlich, ob es sich um einen Sachverhalt oder um Zusammenhänge handelt 	(Mit einem Modell kann man) Leuten, die was über die Thematik wissen wollen, das näher beibringen. (iak 00:30:41-9)
	MODELL FÜR EIGENES VERSTÄNDNIS <ul style="list-style-type: none"> Für EIGENES Verständnis, um selbst Dinge nachzuvollziehen Adressat ist Modellnutzer 	(Ich setze mein Modell ein), um Leuten näher zu bringen bzw. auch für mich (um) zu verstehen, wie das funktioniert (und) welche Folgen das hat. (Maus 22:03)
	MODELL FÜR KOMMUNIKATION <ul style="list-style-type: none"> dient dem nach Außentragen von eigenen Vorstellungen/dem Diskutieren nicht im Sinne eines didaktischen Nutzens 	(Dieses Modell setze ich) zum Darüber-Diskutieren ein. Also wen ich sowas jetzt in einer Runde oder so hätte - dass dadurch das Bild immer schärfer wird. Dass man dann immer mehr weiß, was passiert und seine Vermutungen anhand der Vorstellung dann äußert. (Nane 00:10:03-4)
I	MODELL FÜR AUFKLÄRUNG <ul style="list-style-type: none"> dient der Aufklärung über die Gesundheit 	(Die Wissenschaftler nutzen Modelle) zur Aufklärung der breiten Masse, dass halt diese Gefahr vom Herzinfarkt und dieses Risiko schlimm ist. (Tisch 33:28)
	Modell zum Darstellen eines Sachverhaltes <ul style="list-style-type: none"> stellt Sachverhalte dar Modelladressat benannt 	Ein Modell ist ein Objekt, an dem man jemanden zeigen kann, worum es geht bei einer gewissen Thematik. Also man kann zum Beispiel (den) Bau von Molekülen gut an Modellen darstellen oder die DNA. (iak 00:00:11-3)
	MODELL ZUM DARSTELLEN MEHRERER SACHVERHALTE <ul style="list-style-type: none"> stellt mehrere Sachverhalte dar (Nähe zu 	Wenn man jetzt zum Beispiel ein Modell für die Wirkung von Medikamenten hat oder das Andere ist dann eben nur auf den Bau spezialisiert. Aber am besten wäre es natürlich schon, wenn alles in Einem geht zum Zeigen. (Lafu 44:21)

	<ul style="list-style-type: none"> Alternative Modelle) Modelladressat benannt 	
	MODELL ZUM ERKENNEN VON SACHVERHALTEN <ul style="list-style-type: none"> persönl. Zweck für Modellnutzer beschrieben kein Adressat benannt 	<i>Ein Modell würde ich so beschreiben, dass es ein Gegenstand ist, den man sich angucken kann und daran bestimmte Sachverhalte vielleicht besser nachvollziehen und verstehen kann. (Tisch 00:00:23-5)</i>
II	Modell zum Erkennen von Zusammenhängen <ul style="list-style-type: none"> beschreibt Zusammenhänge im Original und dient dazu, bekannte Tatsachen nachzuvollziehen 	<i>Dass man nun wirklich jetzt das nachvollziehen (kann) im Herz, dort ist das und das passiert so. Wenn man jetzt halt zwei Röhrchen nimmt und einen Luftballon, kann es sein, dass es einem nicht so bewusst wird, wie das wirklich im Körper drin ist, wie es richtig abläuft. (Tisch 00:20:39-9)</i>
	Modell zum Erklären von Zusammenhängen <ul style="list-style-type: none"> beschreibt und erklärt Zusammenhänge im Original 	<i>Und daher könnte man halt den Menschen erklären, du isst zu viele fette Sachen. Da gibt es jetzt diese Ablagerungen, das kann dazu führen, dass da diese Beeinträchtigung des Blutflusses ist. Und dass dadurch halt so ein Herzinfarkt auf Grund von Sauerstoffmangel entstehen kann. (Tisch 00:10:57-6)</i>
III	Modell zum Überprüfen von abstrakten Ideen <ul style="list-style-type: none"> dient als Instrument, um neue Dinge vorherzusagen, vage Beschreibung 	<i>Wissenschaftler können mit dem Modell neue Behandlungsmöglichkeiten zum Beispiel oder irgendwelche Reaktionen rausfinden. (Nane 00:32:24-0)</i>
	Modell zum Überprüfen von konkreten Ideen <ul style="list-style-type: none"> dient zur Überprüfung von Hypothesen über das Original, konkrete Ideen werden genannt 	<i>Ich kann mir vorstellen, dass Wissenschaftler die Modelle dafür benutzen, um zu forschen. In irgendwelchen Laboren. Die Modelle benutzen sie, um daran das auszuprobieren, was sie rausfinden wollen. Wenn wir jetzt bei dem Beispiel bleiben, dann gucken die, was man machen kann, um das irgendwie zu therapieren, um das zu vermeiden. Und das probieren sie an dem Modell, damit sie es nicht an Menschen probieren müssen. (Cora S 00:22:51-8)</i>

IV. Testen von Modellen

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband_in/Zeit)
	Nicht zuordbar <ul style="list-style-type: none"> SuS geben eine vage formulierte Antwort, die nicht eindeutig zugeordnet werden kann 	Zum Testen muss es erst mal funktionieren. (Susi 00:11:58-5)
	Verständlichkeit prüfen <ul style="list-style-type: none"> Überprüfen der Modellverständlichkeit der Modelladressaten 	(Man kann ein Modell testen), ob die Leute es verstanden haben oder nicht. (iak 00:30:53-0)
Sonstiges	INFORMATIONSSRECHERCHE <ul style="list-style-type: none"> Testen des Modellobjekts mithilfe von Informationen von Lehrern, Wissenschaftlern oder aus Büchern, Internet auf Richtigkeit/Nützlichkeit 	(Ob mein Modell brauchbar ist), würde ich mir von Lehrern sagen lassen. Also von jemandem, der Ahnung hat, ob das nun richtig oder falsch ist. (Nane 00:19:24-4)
	VERGLEICH MIT ANDEREN MODELLOBJEKTEN <ul style="list-style-type: none"> testen durch einen Vergleich mit bereits existierenden Modellobjekten 	(Ich würde das Modell) mit den anderen vergleichen und gucken, was die gemacht haben und dann würde ich das mehr oder weniger nachmachen. (Anna 00:31:51-9)
	MODELLBAU <ul style="list-style-type: none"> testen, indem Modell mit Materialien gebaut und ausprobiert wird 	(Um zu überprüfen, ob mein Modell brauchbar ist), muss ich meine Zeichnung richtig rekonstruieren. Also das richtige Modell zum Anfassen machen. Und dann einfach probieren, ob das so funktioniert, wie ich mir das denke. (Anna 00:29:52-5)
I	Überprüfung des Materials <ul style="list-style-type: none"> Überprüfung der Widerstandsfähigkeit des Materials (u. a. Beweglichkeit, Stabilität, Elastizität, Gewicht) 	(Ich überprüfe mein Modell auf) Stabilität, ob man das auch gefahrenlos transportieren kann. (Amy 00:29:51-5)
	Überprüfung der Grundvoraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> Nennung grundlegender Anforderungen an das jeweilige Modell 	(Zum Überprüfen meines Modells) würde ich das ausprobieren. Ich würde den Schlauch anschließen an so einen Wasserhahn und gucken, ob wirklich weniger Wasser rauskommt, wenn ich zuhalte. (Susi S 00:06:47-8)
II	Vergleich zwischen Original und Modell <ul style="list-style-type: none"> Vergleich der Eigenschaften (Struktur und/oder Funktion) des Originals mit denen des Modells 	(Ich überprüfe), inwieweit (mein Modell) vom Original (abweicht.) Man weiß ja, wie ein Herz im Inneren aussieht und (überprüft), inwieweit es damit übereinstimmt. (Ich überprüfe) auch die Funktionsweise, ob das Herz in Wirklichkeit so funktioniert. (Amy 00:08:14-2)
III	Überprüfung von Hypothesen <ul style="list-style-type: none"> Überprüfung von Hypothesen über das Original mit dem Modell und Nennung allgemeiner Ideen für Untersuchungen 	Das Herz nimmt das dann auf, pumpt das weiter, aber trotzdem werden diese Schadstoffe nicht eliminiert, sondern einfach nur weitertransportiert und diese lagern sich dann hier in der Arterie ab. ((Plastikrohr)) Diese Verstopfung (ist) wie bei so einem Sauger, der verstopft ist. Der macht dann auch nicht mehr weiter. Dann geht der irgendwann kaputt und das ist mit dem Herzen genauso. (Stuhl 00:32:38-8)
	Überprüfung von Hypothesen mit Forschungsdesign <ul style="list-style-type: none"> Beschreibung einer konkreten Anwendung des Modells (Forschungsdesign) zur Überprüfung einer Hypothese über das Original 	(Konkret würde ich mein Modell) durch Untersuchungen bei Menschen vor dem Herzinfarkt und nach dem Herzinfarkt (testen). Also die vielleicht ein erhöhtes Risiko haben und dann Zwischenuntersuchungen machen, ob sich in den Venen Fettablagerungen befinden und ob da schon im Herzmuskel etwas abgestorben

ist.(Lisa 00:09:25-8)

V. Ändern von Modellen

Niveau	Kategorie mit Erläuterungen	Ankerbeispiele (Proband_in/Zeit)
Sonstiges	VERLETZUNG VON PATENTRECHTEN <ul style="list-style-type: none"> Argumentation mit kreativen und individuellen Charakter von Modellen 	(Ich ändere mein Modell), vielleicht wenn irgendwer schon so eine Idee hatte und ich (es) merke. Ich müsste es ändern, wenn er Patent darauf hat. (iak 00:14:25-3)
	PERSÖNLICHES MISSFALLEN <ul style="list-style-type: none"> Ändern wegen Unzufriedenheit zum Modell von Anderen oder vom Modellierer selbst 	(Ich ändere mein Modell auch), wenn es mir selber nicht mehr gefällt.(Stuhl 00:33:22-7)
	NEUES MODELLOBJEKT <ul style="list-style-type: none"> Ändern im Sinne eines völlig neuen Modellobjekts 	Und dann würde ich gucken, ob es richtig ist. Und wenn nicht, würde ich es nochmal neu machen (oder) überarbeiten. (Anna 54:21)
	NACHAHMUNG BEREITS EXISTIERENDER MODELLOBJEKTE <ul style="list-style-type: none"> Ändern als Nachahmung, Autoritätsgedanke 	(Ich würde das Modell) mit den anderen vergleichen und gucken, was die gemacht haben und dann würde ich das mehr oder weniger nachmachen.(Anna 33:56:08)
	MANGELNDE PASSUNG MIT SUBJEKTIVEN VORSTELLUNGEN <ul style="list-style-type: none"> Ändern, wegen Diskrepanz zu persönlichen Vorstellungen 	Ich ändere mein Modell, wenn es falsch ist, wenn also alles überhaupt gar nicht funktioniert hat, wie ich es mir vorgestellt habe. (Cora 00:16:12-1)
Initial	Ändern für bessere Verständlichkeit <ul style="list-style-type: none"> verbessert das Verständnis und die Kommunizierbarkeit /erleichtert die Vermittlung 	(Für etwas „dümmer“ Menschen) würde ich das (Modell) vereinfachen. Also nicht so viel Unnötiges, sondern einfach nur das ist das. Ich denke, für die Intelligenten muss alles ein bisschen ausgefüllter, tiefgründiger sein.(Anna 00:10:00-0)
	Kein Anlass für eine Änderung <ul style="list-style-type: none"> Ablehnung einer Änderung des Modells 	Ich gehe jetzt davon aus, dass ich Zeit hatte und dass (ich) alles schon ein bisschen geguckt habe. Ich glaube, dann würde ich es nicht nochmal probieren. Ich glaube, dann würd ich es sein lassen.(Anna 00:08:33-2)
	Ändern zur Darstellung unterschiedlicher Originale <ul style="list-style-type: none"> Herstellung verschiedener Modelle für unterschiedliche Originale; jedes Original wird durch ein Modell repräsentiert 	Ich ändere mein Modell, um zum Beispiel den Aufbau des tierischen Herzen zu zeigen. (Maus 00:25:29-3)
	Ändern zur Darstellung unterschiedlicher inhaltlicher Schwerpunkte <ul style="list-style-type: none"> Darstellung anderer Eigenschaften des Originals 	Ich ändere mein Modell, um andere Symptome darzustellen, wie Alter, Rauchen, ungesunde Ernährung, Überanstrengung, Stress.... Dann müsste wieder was Neues ran gebaut werden. Wenn der sich überanstrengt, dann muss Lunge und so was auch mit beachtet werden, weil das hat ja auch was mit der Atmung und dem Sauerstoff und dem Blut zu tun. (Lafu 00:20:04-9)

I	Ändern zur Verbesserung des Modellobjekts <ul style="list-style-type: none"> Optimierung der Funktionsfähigkeit/der Ästhetik/der Realitätsgetreue des Modellobjekts Optimierung der Technik zur Modellherstellung 	<i>(Ein anderer Grund zum Ändern ist), wenn die Konstruktion sehr unübersichtlich wäre. Also, wenn da so viele Sachen sind. (Lafu 00:14:57-0)</i>
	Ändern bei Fehlern im Modellobjekt <ul style="list-style-type: none"> grundsätzliche Überlegungen zur Behebung von Fehlern am Modell Verweis auf konkrete fehlerhafte Eigenschaften des Modells (z. B. Materialmängel) 	<i>(Andere Gründe), dass ich es ändern muss, sind vielleicht, dass es fachlich falsch ist, dass ich irgendwelche Fehler selber gemacht habe, dass es kaputt geht. (Tisch 00:12:57-4)</i>
II	Ändern bei mangelnder Passung mit dem Original <ul style="list-style-type: none"> Optimierung der mangelnden Passung des Modells (Struktur und/oder Funktion) mit dem Original mit Blick auf notwendige Übereinstimmungen zwischen Original und Modell 	<i>(Ein Modell muss geändert werden), wenn es zu große Unterschiede (zum) Original hat. Also wenn man es gar nicht wiedererkennt. (Susi 00:25:01-0)</i>
	Ändern bei neuen Erkenntnissen über das Original <ul style="list-style-type: none"> Integration neuer Erkenntnisse über das Original ins Modell; verbesserte Technik führt zu neuen Erkenntnissen über das Original 	<i>(Ich ändere mein Modell auch, wenn) neue Erkenntnisse über den Herzinfarkt rausgekommen sind und dass man die noch mit einbringen muss. Vielleicht wird irgendwas entdeckt, was noch dazu führen kann oder was da noch passiert. (Ama 53:21:03)</i>
	Ändern bei Veränderung des Originals <ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung von Veränderungen (z. B. Individualentwicklung) bzw. Weiterentwicklungen (z. B. evolutive Anpassung) des Originals als neue Informationen im Modell 	<i>(Ich ändere mein Modell noch), wenn sich zum Beispiel Krankheiten oder sonstiges verändern, dass sich einfach der Ablauf verändert. Es kann ja auch sein, dass sich das Herz vom Menschen verändert, auch im Laufe der Zeit (durch) Mutation. (Maus 00:24:36-7)</i>
III	Ändern bei Erkenntnissen aus Modellexperiment <ul style="list-style-type: none"> Anpassung des Modells an Erkenntnisse über das Original auf der Grundlage eines Modellexperiments/Falsifizieren der Hypothese, die dem Modell zugrunde liegt 	<i>(Wenn mein Modell nicht brauchbar ist), muss ich überlegen, wie kommt man eigentlich auf das Modell. Zum Beispiel guckt man ja beim kranken Herz, was ist da anders als beim normalen Herz. So ist man ja bestimmt auf die Krankheit gekommen. Was es eben verursacht. Und wenn das eben nicht so ist, dann muss man halt gucken, was andere Ursachen dafür sind bzw. gucken, ob das wirklich daran lag. Oder ob das noch anders funktioniert und sonstiges. (Maus 00:23:58-9)</i>

VI. Prozess der Modellbildung

Kategorie	Ankerbeispiel (Schüler)
Frage <ul style="list-style-type: none"> Finale Frage der SuS zum Phänomen, die interessiert 	<i>(Am meisten interessiert mich die Frage) Kann man einen Herzinfarkt therapieren? (Cora 6)</i>
Vermutung <ul style="list-style-type: none"> Vermutung der SuS zur Frage, die untersucht werden soll 	<i>(Meine Vermutung zur Therapie ist ganz krass Blutaustausch. Wenn das an dem Blut liegt, dass da Schadstoffe drin sind und man irgendwelches andere Blut bekommt, was halbwegs gesund ist, dann kann es nicht passieren. (...) Und dann vielleicht irgendwelche Stoffe begeben, damit das besser fließt oder dass es dünner wird - keine Ahnung. (Cora Schneider 10)</i>
Zeichnen/Denkmodell <ul style="list-style-type: none"> Prozess des Lauten Denkens nach Aktionskarte I zum Zeichnen oder Beschreiben des Denkmodells Als Unterodes festhalten, was das Zeichnen/Beschreiben noch bei den SuS auslöst, z.B. spontane Metaphernbildung 	<i>Also das muss gar nicht so realistisch sein. Ich stelle mir das wie eine (Art) Pipeline vor. Die ganzen Blutgefäße, also zum Beispiel die Herzkranzgefäße sind halt so die Pipelines, die das sauerstoffreiche Blut transportieren. Durch Fette aus der Nahrung werden die Pipelines verstopft. Dann kann halt das sauerstoffreiche Blut nicht mehr so den Herzmuskel versorgen. ((zeichnet)) Das soll eine Fabrik sein. Hier ist noch eine Tür. Und das ist halt der Herzmuskel. Der (ist) auch der Antrieb für den Körper. Und hier sind halt die Pipelines. Die haben immer so viele Rohre. Die Pipeline verstopfen halt das Blut und dann kommen nur noch so kleine Tropfen an.(iak12)</i>
Modellbau/ Denkmodell <ul style="list-style-type: none"> Prozess des Lauten Denkens nach Aktionskarte II zur Modellkonstruktion oder Beschreiben des gegenständlichen Denkmodells 	<i>Ich stelle mir vor, dass ich (eine) durchsichtige Röhre hätte. Die muss durchsichtig sein, damit man erkennen kann, was drinnen passiert. Das würde ich dann an irgendetwas anschließen, das das Herz darstellen soll. Dann würde ich irgendeine Flüssigkeit nehmen, die sozusagen angepumpt wird. Und in der Flüssigkeit ist irgendein Klumpen oder so, der die Röhre verstopft. Und dann geht es nicht mehr weiter.(Cora Schneider 42)</i>
Neue Recherchen <ul style="list-style-type: none"> Informationsrecherche als Zwischenschritt <u>nach</u> dem negativen Testen von Modellen und vor dem Ändern von Modellen Könnte evtl. im Prozess der Modellbildung ergänzt werden 	<i>(Wenn mein Modell nicht brauchbar ist), würde ich wahrscheinlich nochmal viel mehr recherchieren. (iak 18)</i>
Subjektive Bewertung des Modellobjekts <ul style="list-style-type: none"> Die Beurteilung kann positiv und negativ sein hinsichtlich Ideenreichtum, Materialökonomie, Anschaulichkeit, praktischer Handhabbarkeit, Verständlichkeit, Vollständigkeit, Realitätsnähe Wenn eigenes Modell bewertet, zeigt sich die Individualität des Modellbildungsprozesses nach Justi & Gilbert (2002) oft werden auch alternative Modellobjekte verglichen und bewertet (Intervention) 	<i>((Schaut sich virtuelles Herz an)) Das ist ziemlich schlau gelöst, weil die kein Material verbrauchen. Vielleicht ist es für kleinere Kinder schwerer nachzuvollziehen, weil sie das nicht anfassen können, sondern nur sehen können. (Susi Mustermann 59)</i>

VII. Nature of Science

Kategorien (nach Kremer, 2010)	Ankerbeispiel (Schüler)
Kreativität von Naturwissenschaftlern <ul style="list-style-type: none"> Kreativität und Einfallsreichtum für Gewinnung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse Inspiration und Vorstellungskraft der Wissenschaftler 	<i>Ich habe mir auch gerade überlegt, ob das so richtig ist. Irgendwie sieht das ja kreativ aus, finde ich schon mal ganz gut. (Anna 37)</i>
Zweck der Naturwissenschaften <ul style="list-style-type: none"> natürliche Phänomene beschreiben, erklären, vorhersagen Untersuchungen für neue Entdeckungen 	<i>Die Modelle benutzen sie, um daran das auszuprobieren, was sie rausfinden wollen. Wenn wir jetzt bei dem Beispiel bleiben, dann gucken die, was man machen kann, um das irgendwie zu therapieren, um das zu vermeiden. Und das probieren sie an dem Modell ((lacht)), damit sie es nicht an Menschen probieren müssen. (Cora Schneider 82)</i>
Rechtfertigung des Wissens <ul style="list-style-type: none"> durch Beobachtungen, Experimente, rationale Begründungen, Skepsis experimentelle Daten unterstützen die eigenen Vorstellungen Vorhandensein konkreter Vorstellungen vor Experiment 	<i>Ich würd es einfach irgendwie probieren und mich mit anderen kurzschließen und gucken, was die dazu sagen würden. (Wenn ich mein Modell dann gebaut habe) hoffe ich, dass ich meine These daran beweisen kann und zeigen kann, dass es richtig ist, bzw. falsch ist. (Anna 7)</i>
Entwicklung des Wissens <ul style="list-style-type: none"> Veränderung von Vorstellungen bei neuen Beweisen Wissenswandel durch neue Technologien, Forschungsmöglichkeiten 	<i>Es kann ja immer sein, dass neues Wissen entdeckt und entwickelt wird. Und dafür braucht man dann auch neue Modelle. Da könnte ich jetzt nicht recherchieren und mich an Sachen orientieren, die es schon gab. (Cora Schneider 38)</i>
Sicherheit des Wissens <ul style="list-style-type: none"> Vorläufigkeit bestehender Konzepte & Theorien ein Nebeneinander gültiger Theorien bis Beweis des Gegenteils Wissen niemals wahr, Infragestellen 	<i>(Es gibt verschiedene Modelle zum Herzinfarkt), weil ich denke, dass auch keines so hundertprozentig richtig ist. Ich denke, dass halt jeder ein bisschen seine eigenen Forschungen gemacht hat und die dann selber mit eingebracht hat. Da hat ein anderer dann wieder was ganz anderes gesehen und das gemacht. (Anna 53)</i>
Herkunft von Wissen <ul style="list-style-type: none"> Wissen auch von Lernenden/Nichtwissenschaftlern selbst entdeckt und erarbeitet jeder kann etwas zum naturwissenschaftlichen Wissensfundus beitragen 	<i>Dann würde ich versuchen, das selber rauszufinden. (Ich) würde Experimente machen, um das nachzuweisen. Und würde dann zu meinem eigenen Ergebnis kommen und das dann als Modell darstellen. (Cora Schneider 40)</i>
Einfachheit des Wissens <ul style="list-style-type: none"> Naturwissenschaftliches Wissen mit Tendenz zur Einfachheit ohne Vernachlässigung der Komplexität von Phänomenen Theorien sind allgemein und umfassend als spezifisch und detailliert formuliert 	<i>Auf jeden Fall (kann man Modelle nutzen, die sich sehr stark von einem Herzinfarkt unterscheiden), weil wie gesagt, ich hatte ja vorhin auch das einfache Beispiel einer Pumpe nahe gelegt. Und das Herz ist ja nun mal nichts anders und das (kann man) auch wirklich an so einer Wasserpumpe oder sowas erklären. Das eben kein Wasser mehr durchfließt. (Maus S 00:29:27-9)</i>

Expertenmap zum Kontext Arteriosklerose/Herzinfarkt

Expertenmap

